B 7922 F

Heft 6 Seite 231-268 3. Jahrgang Dezember 1961

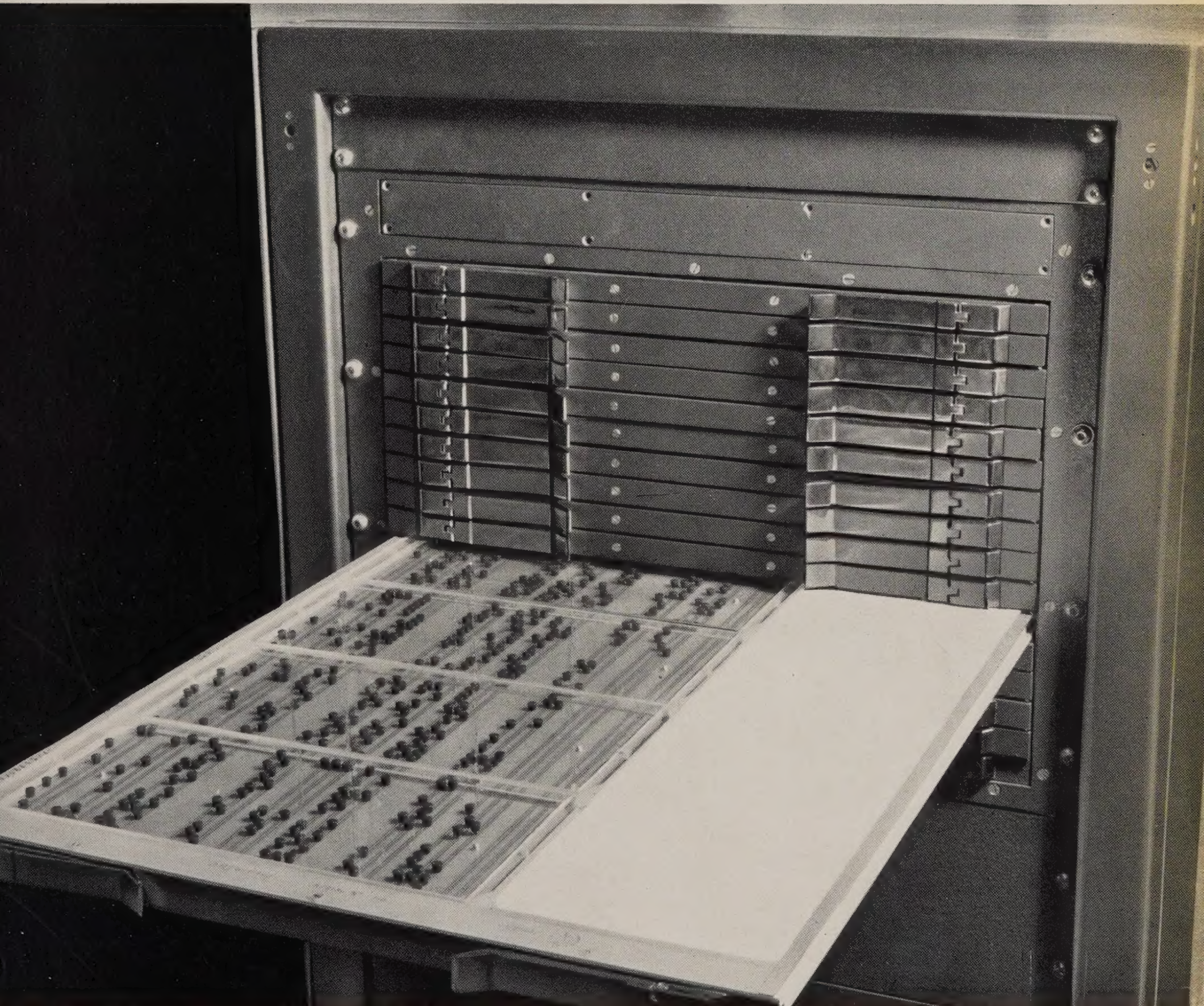
R. Oldenbourg München und Wien

Postverlagsort München

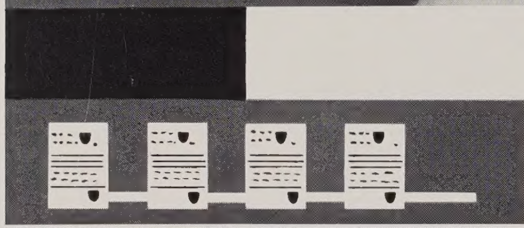
ER

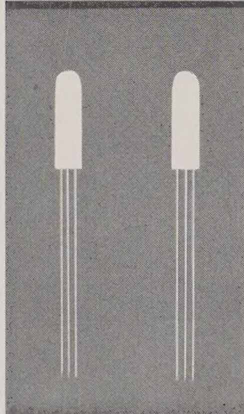
Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft Wirtschaft und Verwaltung



Programm-Festspeicher des Ferranti-Prozeßrechners „Argus"





Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung.

Unter Mitwirkung des Fachausschusses 6 ,,Informationsverarbeitung'' der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) herausgegeben
im Verlag R. Oldenbourg, München und Wien.

Schriftleitung:

Dr. rer. nat. K. Becker-Berke, Sindelfingen,
Dr. rer. nat. H. Billing, München,
Dr.-Ing. H.-J. Dreyer, Stuttgart,
Dr. rer. nat. R. Herschel, Ulm,
Dr. phil. nat. H. Kaufmann, München,
Dr. techn. H. Zemanek, Wien.

Büro der Schriftleitung:

D. Kroneberg, München 8, Rosenheimer Straße 145, und
1 bis Rue Vaneau, Paris 7 ème

Verlag und Anzeigenverwaltung:

R. Oldenbourg, München 8, Rosenheimer Straße 145, Telefon: 4 59 21, Fernschreiber: 05/23789
R. Oldenbourg, Ges. m. b. H., Wien III, Neulinggasse 26, Telefon: 72 62 58

Bezugsbedingungen:

Die Zeitschrift Elektronische Rechenanlagen erscheint zweimonatlich, jeweils im Februar, April, Juni, August, Oktober, Dezember.
Bezugspreis DM 54,— (Ausland DM 56,—) im Jahr zuzüglich Zustellgebühr, Einzelheft DM 12,—. Postscheckkonto München Nr. 50 04, R. Oldenbourg.
Mitglieder der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) zahlen den ermäßigten Bezugspreis von DM 43,20 im Jahr, sofern sie ihre Bestellung an die NTG-Geschäftsstelle in Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6, richten.

Mitteilungen über die Inhaber- und Beteiligungsverhältnisse des Verlages R. Oldenbourg auf Grund des Bayerischen Gesetzes über die Presse vom 3. 10. 1949: Die Gesellschafter-Anteile befinden sich im Besitz der R. Oldenbourg K.G., München, Rosenheimer Straße 145. Persönlich haftende Gesellschafter: Eberhard Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München, Wilhelmstr. 25; Dr. Rudolf Oldenbourg Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 5; Horst Kliemann, Verlagsbuchhändler, München 19, Falnerstr. 4; Kommanditisten: Mathilde v. Bomhard, München, Sternwartstr. 3; Gabriele v. Bomhard, München 13, Pettenkoferstr. 48/III; Cilla v. Cornides, Rieden/Tirol; Dr. Karl v. Cornides, Verlagsbuchhändler, Wien III, Neulinggasse 26; Wilhelm v. Cornides jr., Verlagsbuchhändler, Oberursel/Taunus, An der Heide 33; Frl. Cilla v. Cornides, München, Robert-Koch-Straße 18/IV; Brigitte Fertl, München, Dorschtallee 30; Dipl.-Ing. Hans A. Fieser, Dir., Gauting, Waldpromenade 62; Irmgard Fieser, Gauting, Waldpromenade 62; Annemarie Ginther, Rieden/Tirol; Dr. Helene Hahn, Bremen-Blumenthal, Landrat-Christian-Straße 79; Marie-Hedwig Klöpfer, Essen-Werden, Laupendahler Landstraße 17; Eva Lange, Bonn/Rhein, Baumschulallee 10; Maria Freifrau v. Meyern-Hohenberg, München, Kopernikusstr. 11/IV; Edith Müller, Hamburg 39, Clärchenstr. 22; Inge v. Negelein, München 27, Denninger Str. 34; Consuelo Oldenbourg, München, Viktor-Scheffel-Straße 20/I; Emmy Oldenbourg, Rieden/Tirol; Gertrud Oldenbourg, Bremen, Friedrich-Karl-Straße 80; Dr. John C. Oldenbourg, São Paulo/Brasilien, Rua Alagoas 670; Marga Oldenbourg, München, Wilhelmstr. 25; Walter Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Irmgardstr. 27; Wilhelm Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 5; Wolfgang Oldenbourg, Kaufmann, München-Trudering, Waldschulstr. 75; Brigitte Reiner, Haar b. München, Vockestr. 82; Friedrich Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Ilse Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Sophie Schmid, Bad Reichenhall, Wisbacherstr. 4; Gräfin Inge Schönborn, München, Sternwartstr. 3; Ilse Schröder, Hofsichtlaan 24, Den Haag; Luise Sieper, München, Bonner Straße 24; Hedwig Freifrau v. Stengel, Grünwald b. München, Gasteigweg 1.

 Druck: R. Oldenbourg, Graphische Betriebe GmbH, München 8, Rosenheimer Straße 145

INHALT Heft 6 · 1961

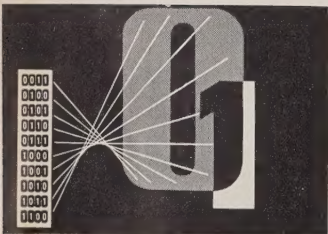
CONTENTS

SIEMENS

126-01-4

Die Kapazität von morgen

In den Entwicklungsstätten der Industrie werden aus den Ideen von heute die Grundlagen für ein Fertigungsprogramm erarbeitet, das morgen in Serie gebaut werden soll. Zur Lösung dieser Aufgaben muß eine Vielzahl von gültigen Ergebnissen gewonnen werden. Fruchtloses Experimentieren und zeitraubende Umwege sind zu kostspielig und hemmen die Entwicklung. Elektronische Rechenanlagen ermitteln an zentraler Stelle rasch, sicher und exakt die Resultate aller Berechnungen. Diese neuen, wirksameren Mittel sichern die Nutzung der Fertigungskapazität von morgen.



Die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002

ist eine Anlage mit universeller Einsatzmöglichkeit; der bausteinartige Aufbau ermöglicht die Anpassung an alle Probleme. Die entscheidenden Vorzüge der Siemens Datenverarbeitungsanlage sind: hohe Arbeitsgeschwindigkeit, beliebig erweiterbare Speicherkapazität, schnelle Ein- und Ausgabegeräte. Mit wachsenden Problemen und Anforderungen kann die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002 entsprechend erweitert werden.

Die Erfahrung unserer Fachleute steht Ihnen jederzeit zur Verfügung; die weltweite Vertriebsorganisation des Hauses Siemens gewährleistet zuverlässigen Kundendienst.

SIEMENS & HALSKE AKTIENGESELLSCHAFT
WERNERWERK FÜR TELEGRAFEN- UND SIGNALTECHNIK

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung

3. Jahrgang 1961, Heft 6

Der schnelle und billige Transport von Nachrichten, Personen und Gütern hat den für die Menschheitsgeschichte so bedeutenden Einfluß der Entfernung in kaum geahnter Weise gemindert. Diese Entwicklung bestimmt maßgebend Hoffnung und Sorge unserer Generation.

Sucht man zu ergründen, warum sich unser heutiges Leben so stark von dem früherer Generationen unterscheidet, so stellt man fest, daß es auch in der privaten Sphäre jedes einzelnen von immer mehr und immer unterschiedlicheren Faktoren bestimmt wird. Boden und Klima der Heimat, Fleiß, Fähigkeit und Charakter des einzelnen oder auch seines Volkes bestimmten noch vor hundert Jahren die Sicherheit und den Lebensstandard unserer Vorfahren. Das Leben des Menschen unserer Zeit hingegen wird von Entwicklungen beeinflußt, welche weit außerhalb seiner unmittelbaren Lebenssphäre liegen. Sie vollziehen sich in Ländern, die Tausende von Meilen von seiner Heimat entfernt sind, oder hängen von Fortschritten und Rückschlägen auf Wissensgebieten ab, auf deren Entwicklung er nicht den geringsten Einfluß nehmen kann.

Es wäre verfehlt, dieser schicksalhaft ablaufenden Entwicklung tatenlos zuzusehen. Es kommt darauf an, Hilfsmittel zu schaffen, welche den die Verantwortung tragenden Menschen, ganz gleich, ob sie in der Staatsführung, der Wirtschaft, der Wissenschaft oder der Kultur an leitender Stelle stehen, den klaren Überblick über die immer zahlreicheren und immer mannigfaltigeren Einflüsse erhalten, die bei ihren Entscheidungen zu berücksichtigen sind. Die menschliche Arbeitsleistung reicht hierfür weder quantitativ noch qualitativ aus. Der Mensch ist somit, wie in der Frühzeit seiner Geschichte, gezwungen, sich neue Werkzeuge zu schaffen, um der veränderten Umwelt Herr zu werden. Diese werden ihn auch so wie einst von körperlicher Arbeit heute von vermeidbarer Kopfarbeit entlasten. Das geeignete Werkzeug ist die elektronische Nachrichtenverarbeitung in engster Verbindung mit schnellen weltweiten Nachrichtenübertragungssystemen.

Wie werden nun die Geräte beschaffen sein, die die Zukunft von uns fordert? Wir stehen hier erst am Ausgangspunkt einer gewaltigen Entwicklung. Auch die modernsten Nachrichtenverarbeitungsanlagen, über die wir heute verfügen, tragen noch allzu deutlich Merkmale ihrer historischen Entwicklung. Die so wichtigen Ein- und Ausgabegeräte sind weitgehend der klassischen Büromaschinentechnik entnommen. Die elektronischen Einrichtungen wurden, von der Schaffung sehr schneller Speicher abgesehen, sehr stark von der Nachrichtenübertragungstechnik beeinflußt. Systematische Fortschrittsarbeit wird hier zweifellos zu wichtigen Verbesserungen und zu einer stärkeren Anpassung der Geräte und Methoden an die Aufgabenstellung führen; eine grundsätzliche Überlegung verdient jedoch besondere Beachtung.

Die Nachricht an sich ist immateriell und könnte auf einem außerordentlich niedrigen Energieniveau gesendet, empfangen und verarbeitet werden. Eine untere Grenze ist aber wegen der Störungen durch das Wärmerauschen der dazu benutzten technischen Einrichtungen gezogen. Die Natur hat unsere Sinnesorgane, insbesondere das Auge und das Ohr, so geschärft, daß sie Impulse aufnehmen, deren Energie nur um den Faktor 100 über der des naturgegebenen Wärmerauschens liegt. Versuchen wir jedoch, Nachrichten elektrisch zu übertragen, so sind diese auf dem Übertragungswege starken Störungen mannigfaltiger Art ausgesetzt. Man bildet daher die elektrischen Organe am Eingang und auf der Strecke des Nachrichtenkanals so aus, daß sie die geringe jeweils aufgenommene Energie so verstärken, daß auf dem Übertragungswege das Nutzsignal-Niveau weit über dessen Störenergie-Niveau liegt. Das bringt es nun mit sich, daß die aktiven Elemente der modernen Nachrichtensysteme in ihrem Energieniveau um den Faktor 10^{10} bis 10^{15} über dem der menschlichen Sinnesorgane liegen. Die Sicherheit wird durch einen relativ gesehen gewaltigen Energieaufwand erkauft.

Die Nachrichtenverarbeitung ist äußeren Störeinflüssen nur wenig ausgesetzt. Ihre Geräte brauchen sich der Umwelt nur auf der Ein- und Ausgabeseite anzupassen. Die eigentliche Verarbeitung kann sich in eng umgrenzten, gut schützbaren Gehäusen vollziehen. Sie ist nur den Störungen ausgesetzt, die im Gehäuse selbst entstehen, und diese sind in ihrer relativen Auswirkung unabhängig vom Energieniveau des Systems.

Es liegt also nahe, für den elektronischen Kern der nachrichtenverarbeitenden Geräte ein Energieniveau zu wählen, das weit unterhalb dem der heute angewandten Technik liegt. Das ist durchaus denkbar, denn mit dünnen magnetischen Schichten kann man heute bereits Speicher- und Schaltfunktionen mit einer Energie ausführen, die um den Faktor 10^5 bis 10^{10} niedriger ist als in den heutigen Nachrichtenverarbeitungsanlagen. Es ist leicht vorstellbar, daß durch die Senkung des Energieniveaus alle Bauteile und Konstruktionen kleiner und sicherlich auch einmal billiger werden; mit Einrichtungen dieser Art wird man auch schneller schalten und speichern können.

Es wird sicherlich noch intensiver Forschungsarbeit bedürfen, um diese Gedanken zu verwirklichen. Ist dieses Ziel aber einmal erreicht, so wird den klassischen Gebieten ,,Starkstrom'' und ,,Schwachstrom'' in der Elektrotechnik ein neues technologisches Gebiet gegenüberstehen, das ich als ,,Mikroenergietechnik'' bezeichnen möchte. Die Mikroenergietechnik wird sich im Hinblick auf das mittlere Energieniveau und die Technologie von der heutigen Schwachstromtechnik vermutlich ebenso stark unterscheiden wie diese von der Starkstromtechnik.

Notizen und Berichte

Als dritter Band der *Beihefte zur Zeitschrift „Elektronische Rechenanlagen"* erschienen bei R. Oldenbourg die Vorträge der NTG-Fachtagung „Lernende Automaten" (Karlsruhe, 13. und 14. April 1961). Der von *H. Billing* besorgte Band, zu dem *K. Steinbuch* das Vorwort schrieb, enthält auf 240 Seiten den vollen Text der neunzehn Vorträge dieser Tagung (vgl. unseren Bericht in Heft 3 (1961) auf Seite 100).

●

Nach einem von der amerikanischen Electronic Industries Association und dem US-Verteidigungsministerium herausgegebenen Bericht arbeiten gegenwärtig 76% aller in der amerikanischen elektronischen Industrie beschäftigten Ingenieure und Wissenschaftler an Regierungsaufträgen.

●

Nachfolgeorganisation des früheren National Joint Computer Committee wurde die *American Federation of Information Processing Societies* (AFIPS). Entsprechend sollen auch die halbjährlich abwechselnd an der West- und Ostküste abgehaltenen Joint Computer Conferences ihren Namen ändern.

●

Vor einem Jahr berichteten wir an dieser Stelle von der Gründung der *Compagnie Européenne d'Automatisme Electronique* (CSF plus Intertechnique plus Thompson-Ramo-Wooldridge). Zweck dieser Gründung war Fertigung und Vertrieb von Prozeßregelanlagen basierend auf dem Ramo-Wooldridge-Rechner RW 300. Wie jetzt gemeldet wurde, haben Thompson-Ramo-Wooldridge zusammen mit der englischen General Electric Company Ltd. eine ähnliche Firma in England gegründet. Es handelt sich um die *International Systems Control Ltd.* mit einem Anfangskapital von 5 Millionen DM.

●

Die *International Federation of Automatic Control* (IFAC) plant ihren zweiten großen Kongreß für September 1963 in Basel. Über den ersten IFAC-Kongreß, der im Juli 1960 in Moskau stattfand, berichteten wir in 2 (1960), Heft 3. Für die Baseler Veranstaltung sollen Vorträge bis zum 1. Juni 1962 eingereicht werden. Nahezu alle Vorträge sollen sich mit Fragen der Theorie oder der Anwendung der Regelungstechnik befassen, während über Gerätetechnik und allgemeine Themen nur einige wenige Beiträge im Programm vorgesehen sind. Folgende Gebiete sollen behandelt werden:

1. Theorie

1.1 Unstetige Regelungssysteme, 1.2 Stochastische Systeme, 1.3 Optimierungssysteme, 1.4 Lernende Automaten, 1.5 Zuverlässigkeit von Systemen.

2. Anwendungen

2.1 Dynamisches Verhalten der Regelstrecken, 2.2 Untersuchung von Anlagen mittels Rechenmaschinen, innerhalb und außerhalb der Anlage, 2.3 Anwendung optimierender oder selbstanpassender Regelungen.

3. Gerätetechnik

3.1 Neue Geräte, 3.2 Messung der Zuverlässigkeit von Geräteteilen.

Der zweite IFAC-Kongreß wird von der *Schweizerischen Gesellschaft für Automatik* als Gastgeber-Organisation veranstaltet. Alle näheren Auskünfte für die Bundesrepublik erteilt der Sekretär der IFAC, Dr.-Ing. *G. Ruppel*, Postfach 10250, Düsseldorf 10.

●

Die *Westinghouse Electric Corporation* und die *Remington Rand Division* der Sperry Rand Corporation haben ein Abkommen geschlossen, nach dem beide Firmen gemeinsam an einem Forschungs- und Entwicklungsprogramm arbeiten werden. Im Rahmen dieses Programms, das bereits in Angriff genommen wurde, sollen neue Produktionssteuerungssysteme unter Verwendung elektronischer Rechenanlagen entwickelt werden.

Hierbei hat Remington Rand die Aufgabe, spezielle UNIVAC-Datenverarbeitungsanlagen zu schaffen, die als Bestandteil derartiger Systeme eingesetzt werden können. Westinghouse hingegen wird für die Lieferung der kompletten Systeme einschließlich ihrer Installation und des technischen Dienstes verantwortlich zeichnen.

Das Abkommen berührt nicht diejenigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die von den beiden Vertragspartnern auf anderen Gebieten geleistet werden.

●

Am 9. September 1961 fand die Gründungsversammlung der *Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung* (DGU) an der Münchner Technischen Hochschule statt. Diese Gesellschaft ist aus dem *Deutschen Ausschuß für Unternehmensforschung* (DAUF) hervorgegangen und wird ihren Sitz in Bonn haben. Von der Versammlung wurden folgende Herren für den engeren Vorstand gewählt:
Vorsitzender: Prof. *Görtler* (Univ. Freiburg),
Stellvertr. Vorsitzender und Schriftführer: Prof. *Krelle* (Univ. Bonn),
Schatzmeister: Herr *v. Falkenhausen* (IPM Darmstadt).

Für den erweiterten Vorstand wurden die folgenden Herren vorgeschlagen und gewählt: Prof. *Gutenberg*, Köln (Betriebswirtschaft), Prof. *Heinhold*, München (Mathematik), Prof. *Kracke* (Versicherungswesen), Prof. *Künzi*, Zürich (Nationalökonomie), Prof. *Pfanzagl*, Köln (Statistik), Dr. *W. Schulz*, Braunschweig (Luftfahrt), Prof. *H. Müller*, Freiburg (Volkswirtschaft).

Die Gesellschaft will einen besonders engen Kontakt zu der in diesen Tagen in der Schweiz gegründeten *Schweizerischen Gesellschaft für Operations Research* pflegen und außerdem die Verbindung zu der *International Federation of Operations Research Societies* (IFORS) übernehmen.

●

In New York wurde am 2. Oktober ein technisches Abkommen zwischen der *Compagnie des Machines Bull*, einem der führenden europäischen Produzenten von Lochkartenmaschinen und elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, und der *Radio Corporation of America* (RCA) unterzeichnet. RCA beschäftigt 88000 Mitarbeiter, davon etwa ein Viertel in der elektronischen Forschung sowie in der Entwicklung und Herstellung von elektronischen Anlagen und Bauteilen.

Durch dieses für die ganze Welt gültige Abkommen stellen sich BULL und RCA zunächst auf 12 Jahre gegenseitig ihre Patente und Fertigungsmethoden für elektronische Anlagen zur Verfügung. Als unmittelbare Auswirkung erscheint BULL ab sofort mit einer neuen elektronischen Datenverarbeitungsanlage auf dem Markt. Finanziell bleiben beide Firmen voneinander unabhängig und verfolgen wie bisher ihre eigenen Ziele in Entwicklung und Fabrikation.

●

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron in Hamburg wird als Gemeinschaftsvorhaben der Bundesrepublik und der Hansestadt Hamburg errichtet und soll nach Fertigstellung allen deutschen Forschungsinstituten zur Verfügung stehen. Entsprechend beteiligen sich an den Betriebskosten neben dem Atomministerium alle deutschen Länder.

Mit 6 bis 7,5 GeV Endenergie wird das Deutsche Elektronen-Synchrotron der größte Elektronenbeschleuniger Europas sein. Der Durchmesser des Beschleunigungsringes beträgt ca. 100 m, das magnetische Führungsfeld wird in 48 Magnetsektoren erzeugt und erfordert bei Nennenergie eine Magnetisierungsleistung von etwa 150 MVA. Die Führungsmagnete sind durch Kondensatoren zu Reihenschwingkreisen ergänzt, deren Resonanzfrequenz auf 50 Hz abgestimmt ist. Um ein Fließen des überlagerten Gleichstromes zu ermöglichen, werden die Kondensatoren durch Drosseln überbrückt. Die von der Stromversorgungseinrichtung aufzubringende Verlustleistung der Führungsmagnete, Drosseln und Kondensatoren beträgt zusammen etwa 1,6 MW.

Obwohl die Resonanzfrequenz zu 50 Hz gewählt wurde, ist ein direkter Anschluß des Magnetkreises an das Wechselstromnetz nicht möglich. Ein von *BBC* neu entwickelter Umrichter, d. h. eine mit gittergesteuerten Stromrichtergefäßen aufgebaute ruhende Umformungseinrichtung wurde deshalb für die Magnetstromversorgung vorgesehen.

●

Die Siemag Dataquick hat bei der Errechnung der Zwischenergebnisse und des Endergebnisses der Bundestagswahlen in Schnelligkeit und Zuverlässigkeit auch unsere hochgespannten Erwartungen übertroffen. Dank der Begeisterung, der unermüdlichen Arbeitsfreude und des lebhaften Interesses ihrer Maschinenmannschaft an der gemeinsamen Aufgabe konnten wir trotz überraschend schnellen Eingangs der Wahlergebnisse den Bundeswahlleiter um rund drei Stunden bei der Ermittlung des Endergebnisses schlagen.

(Aus einem Telegramm des dpa-Chefredakteurs an Siemag, Eiserfeld.)

●

Die I.C.T (*International Computers and Tabulators* Ltd.) und die N.D.P.C. (*National Data Processing Corporation*, USA) haben ein langfristiges Markt- und Produktionsabkommen geschlossen. Mit diesem Vertrag hat die I.C.T einen entscheidenden Schritt vollzogen, der ihr Einfluß in einen interessanten Marktbereich in rund 50 Ländern bietet.

Die I. C. T ist einer der führenden Hersteller von Lochkartenmaschinen und elektronischen Rechenanlagen, (Hauptsitz in London). Neben 50 Ländern, in denen sich Niederlassungen und Tochtergesellschaften befinden, wendet das Unternehmen dem deutschen Markt besonderes Interesse zu. Die deutsche Tochtergesellschaft (I.C.T GmbH) hat seit mehreren Jahren ein enges Verkaufs- und Kundendienstnetz in Deutschland aufgebaut.

Die N.D.P.C. ist ein Forschungs- und Produktionsunternehmen für Datenverarbeitungsmaschinen, vornehmlich für die automatische Belegbearbeitung. Den wesentlichen Anteil haben magnetische und optische Lesegeräte (Beleglese- und Sortiermaschinen) wie sie für die Automatisierung der Banken, Versicherungen und ähnlicher Institutionen benötigt werden. N.D.P.C. ist in den USA mit ihren Anlagen überraschend erfolgreich.

Das langfristige Abkommen besagt, daß die I.C.T in sämtlichen Ländern (Ausnahme Kanada), in denen sie vertreten ist, das alleinige Recht zum Vertrieb der N.D.P.-Anlagen besitzt. Einige Maschinen wird I.C.T auch selbst produzieren. N.D.P.C. besitzt für bestimmte I.C.T-Anlagen die gleichen Rechte in den USA. Außerdem wurde eine intensive technische Zusammenarbeit vereinbart.

Die modernen Anlagen der N.D.P.C. reihen sich sinnvoll in das Programm der I.C.T ein und führen zu einer weitgehenden Vervollständigung. Es handelt sich dabei vor allem um folgende Maschinen:

Belegleser (mit 18 Ablegefächern) zum Lesen und Sortieren von Belegen, die nach dem MICR-(Magnetic Ink Character Reading)-Verfahren beschriftet sind; *Hochleistungszeilendrucker* und Recheneinheiten zum Schreiben z. B. von Journalen für die Eingangs- und Ausgangsprüfung; *Steuereinheiten mit Speicher* für Kundenkontennummern und Durchgangsnummernleitsymbole sowie für die Steuerung programmierter Sortierarbeiten.

Die einzelnen Einheiten der N. D. P.-Belegbearbeitungsanlagen lassen sich gegenwärtigen und künftigen Anforderungen entsprechend zu verschiedenen Kombinationen zusammenstellen und erweitern, die jeweils eine spezifische Belegbearbeitungsanlage ergeben. Eine solche Anlage könnte aus einem Belegleser, einem Summendrucker und einem Magnetbandbeschrifter zur Erstellung des Eingabemediums für eine elektronische Rechenanlage bestehen. Eine andere Anlage könnte aus drei Beleglesern, drei Summendruckern und einer Steuereinheit für die Bearbeitung großer Mengen von Durchgangsbelegen und Kundenkonten zusammengesetzt sein.

Die Einheiten sind nach dem Baukastensystem konstruiert, so daß die Anlage mit dem wachsenden Automationsprogramm der betreffenden Institution leicht erweitert werden kann.

●

Weiterhin erfolgreich ist das Europageschäft der *Electronic Associates Inc.* (EAI). Zwei Analogrechner vom Typ 231 R im Wert von 119000 Dollar wurden von der deutschen *Interatom* in Auftrag gegeben. Weitere Anlagen gehen an die Technische Hochschule in Eindhoven (Prof. *Bogaardt*), an die ETH Zürich (Prof. *Gerecke*) und an das italienische Ministerium für Luftverteidigung.

●

AUTOPROMT (Automatic Programming of Machine Tools) nennt sich ein von IBM entwickeltes Programmierungssystem für die digitale Steuerung von Werkzeugmaschinen.

●

Für rund 20 Millionen DM gab BEA einen Auftrag für ein automatisches Platzbuchungssystem an *Standard Elektrik Lorenz.*

●

Wie aus einer Notiz der FAZ vom 16. 9. 1961 hervorgeht, besteht die Möglichkeit, daß die *Philco Corporation*, die in letzter Zeit Einbußen durch die Entwicklung ihrer Rechenautomaten erlitten haben soll, von Ford Motor Company, Detroit, aufgekauft werden wird.

●

Ein neues Anwendungsgebiet für elektronische Rechenautomaten scheint sich in der Fernschreibvermittlungstechnik zu eröffnen. Neben der Wählvermittlungstechnik spielt in der Telegraphie die sogenannte Speichervermittlungstechnik eine nicht geringe Rolle. Die Telegramme werden hier vom Teilnehmer zu einer Zentrale gesendet, die die weitere Beförderung zu anderen Teilnehmern oder Zentralen übernimmt. Besonders im militärischen Bereich, aber auch in größeren Konzernen, Verkehrsgesellschaften, Pressenetzen usw. finden sich derartige Zentralen nach dem Prinzip der Speichervermittlung, die in vielen Aus-

führungsformen und verschiedenen Automatisierungsgraden existieren. Die Entwicklung schneller programmgesteuerter Datenverarbeitungssysteme sucht nun auch dieses Feld zu erobern, obwohl sie preislich die konventionellen Hersteller bisher nicht schlagen kann.

●

Herr Dipl.-Volksw. *Helmut E. Ehmann* wurde zum Geschäftsführer der Remington Rand GmbH, Frankfurt a. M., und Generaldirektor für die Abteilungen UNIVAC (elektronische Rechenanlagen), Schreibmaschinen, Mikrofilme und KARDEX (Büroeinrichtungen) ernannt. Er koordiniert außerdem die zu dem deutschen Remington-Konzern gehörenden Torpedo-Werke AG, Frankfurt a.M., KARDEX AG, Saarbrücken, und Deutsche Clary GmbH, Rastatt (Additionsmaschinen).

Herr *Ehmann* ist 1914 in Essen geboren, studierte an verschiedenen Universitäten des In- und Auslandes und war von 1949 bis 1961 in leitenden Stellungen bei dem Ford-Konzern, zuletzt als geschäftsführender Direktor der Ford AG in Österreich, tätig.

●

In dem Internationalen Verband für Regelungstechnik (International Federation of Automatic Control — IFAC) haben die 26 nationalen Mitgliederorganisationen den Exekutivrat neu gewählt. Seit 1. November 1961 ist Professor *Ed. Gerecke* (Zürich) Präsident der IFAC. Vizepräsidenten sind Professor *J. F. Coales* (Cambridge) und Professor *P. J. Nowacki* (Warschau). Der bisherige Präsident, Professor *A. M. Letov* (Moskau), bleibt Mitglied des Exekutivrats.

Außerdem wurden folgende Herren zu ordentlichen Mitgliedern des Exekutivrats neu gewählt: Professor *J. C. Gille* (Paris), Dr. *J. C. Lozier* (Whippany, N. J./USA) und Akademiker *Gr. Moisil* (Bukarest).

●

Die australischen Streitkräfte haben sechs elektronische Groß-Rechenanlagen im Wert von fast 6 Millionen australischen Pfund in Auftrag gegeben.

Die ersten beiden der insgesamt sechs Anlagen vom Typ ,,*Honeywell* 800“ werden im Daten-Verarbeitungs-Zentrum Canberra in Spezialräumen aufgestellt. Sie sollen dazu dienen, die Daten-Verarbeitungs-Systeme des Verteidigungsministeriums weiter auszubauen und zu erproben. Die Lieferung der 2. und 3. Anlage für die Luftwaffe ist für 1964 vorgesehen. Die restlichen Anlagen sollen 1966 und 1967 bei der Marine und dem Heer in Dienst gestellt werden.

Die Honeywell Corporation hat in diesem Zusammenhang ein Wartungs- und Verkaufsbüro in Australien eröffnet, um damit eine bestmögliche Zusammenarbeit mit dem australischen Verteidigungsministerium zu gewährleisten. Die Eröffnung des australischen Honeywellbüros ergab sich außerdem noch im Rahmen des Programms der Gesellschaft, den Markt für Rechenanlagen auf weltweiter Ebene zu erschließen.

●

Seit mehr als zwei Jahren werden rund 1 500 000 Policen der schwedischen Versicherungsgesellschaften *Trygg* und *Fylgia* von einer Ferranti-,,Perseus“-Anlage verarbeitet. Betrieben wird diese Anlage von *A B Datacentralen*, Stockholm, einer Gemeinschaftsunternehmung der beiden Versicherungsfirmen. Für 1963 ist die Aufstellung einer Ferranti-,,Orion“-Anlage vorgesehen, die die zu klein werdende ,,Perseus“-Maschine ersetzen soll.

●

Ein Kolloquium über *Moderne Rechentechnik und industrielle Regelungstechnik* ist vom 28. Mai bis zum 1. Juni 1962 in Paris geplant. Veranstalter sind die Internationale Vereinigung für Analogrechnen (AICA), die französische AFRA und die französische Vereinigung für Rechnen und Nachrichtenverarbeitung (AFCALTI). Die Veranstalter bitten, alle Anfragen an folgende Anschrift zu richten: *A.F.R.A.*, 19, *Rue Blanche, Paris 9 ème.*

●

Die *ITT Federal Laboratories* in Nutley erhielten den Auftrag, für die amerikanische Luftwaffe ein dreidimensionales Sichtgerät für die Luftraumüberwachung zu konstruieren. Grundsätzliche Versuche der ITT hatten bereits zu einem Sichtgerät geführt, das unlängst in Washington vorgeführt wurde. Innerhalb einer durchsichtigen, zylindrischen Kunststoffhaube rotiert ein Spiegelschirm mit gleichbleibender Geschwindigkeit um eine vertikale Achse, wodurch der Schirm unsichtbar wird. Werden Lichtpunkte, die Flugzeuge oder andere Fahrzeuge darstellen, auf diesen rotierenden Schirm projiziert, so erscheinen sie innerhalb des Sichtvolumens als schwebend. Sie können dabei von allen Seiten und von oben betrachtet werden, ohne daß es besonderer stereoskopischer Brillen bedarf, um diese räumliche Wirkung zu erzielen. Steuert man die Lichtpunkte, die sich auch in verschiedenen Farben projizieren lassen, durch entsprechende elektronische Einrichtungen nach den Impulsen eines 3D-Radar-Systems oder eines Computers, so erhält der Beobachter ein ausgezeichnetes Bild von der Lage der einzelnen Objekte im Raum. Eingeblendete leuchtende Planquadrate markieren den genauen Standpunkt der Flugzeuge.

●

Die *Eurocontrol*-Organisation hat ihre Entscheidung, das HARCO (Hyperbolic ARea COverage) -System — ein Langwellen-Navigations-System mit Hyperbelstandlinien — zu erproben, bekanntgegeben. Erst kürzlich hieß es in einer Verlautbarung der Eurocontrol u. a.: ,,Obwohl VOR, ergänzt durch DME, in den folgenden Jahren benutzt werden muß, wird es notwendig sein, ein neues oder verbessertes Navigationssystem einzuführen.“ Demzufolge wurde von der Eurocontrol ein vorläufiges Pflichtenheft für ein solches Navigationssystem herausgegeben und allen größeren Elektronikfirmen in Europa zugeleitet.

Die *Decca-Navigator-Company*, England, hat in Zusammenarbeit mit *CSF*, Frankreich, und *Telefunken*, Deutschland, einen gemeinsamen Entwicklungsvorschlag, der die Eurocontrol-Forderungen erfüllt, eingereicht. Die Entwicklung des HARCO-Systems wird von den drei Gesellschaften in enger Zusammenarbeit durchgeführt. Seine Erprobung wird Anfang 1962 beginnen. Hierfür ist die Modifikation einer Decca-Kette insoweit erforderlich, als diese auf die Bedingungen des HARCO-Systems umgestellt werden muß. Außerdem wird die Erprobung ein umfangreiches Flugprogramm enthalten.

●

In Whitpain Township, Pennsylvania, hat *Remington Rand* kürzlich ein Forschungszentrum eröffnet, das von Fachleuten als eines der modernsten und großzügigsten seiner Art angesehen wird. Das mit einem Kostenaufwand von 20 Millionen Dollar errichtete Zentrum besteht aus einem Gebäude, in dem 25 verschiedene Laboratorien untergebracht sind, und einem zweistöckigen Verwaltungstrakt. Beide Baugruppen sind durch eine Wandelhalle miteinander verbunden und von weitläufigen Grünanlagen umgeben. Die gesamte Bodenfläche aller Räume beträgt etwa 28 000 qm.

Von den 1050 Mitarbeitern des neuen Forschungszentrums arbeiten gegenwärtig 700 Wissenschaftler und Ingenieure an Problemen der Grundlagenforschung sowie an der Entwicklung neuer Datenverarbeitungssysteme und deren Bauelemente. Auch wurde hier eines der größten Rechenzentren der Welt eingerichtet.



Claude E. Shannon

Über hundert Jahre war die elektrische Nachrichtentechnik mit dem Problem der Beförderung von Nachrichten beschäftigt, ohne daß es irgend jemandem eingefallen wäre, das Wesen der Nachricht selbst zum Gegenstand des Interesses zu machen. Dann kam in den vierziger Jahren ein junger amerikanischer Forscher auf die Idee, das „Ding" Nachricht gewissermaßen zu quantisieren, das heißt, eine Nachricht als eine Folge von diskreten Entscheidungsschritten aufzufassen, wobei nur zwei voneinander verschiedene Entscheidungs „zustände" angenommen wurden. Diese binäre Aufschlüsselung aller Arten von Nachrichten gestattete es Shannon, eine schon im ersten Entwurf plausible Theorie aufzubauen, die er Information Theory nannte, und die sich in den etwa zehn Jahren ihres Bestehens zum unentbehrlichen Instrument aller möglichen Disziplinen entwickelt hat. Auch auf den Entwurf von Rechenautomaten, wie auf die gesamte, eben erst im Ansatz vorliegende Theorie der Automaten, hat die Informationstheorie tiefen und entscheidenden Einfluß. Shannon gilt daher ohne Frage zu den führenden Köpfen auf jenen Gebieten, die er selbst als einer der ersten unter dem Begriff Kommunikationsforschung zu vereinen sucht.

Claude Elwood Shannon, Donner Professor of Science am berühmten Massachusetts Institute of Technology, wurde in Gaylord, Michigan, geboren und ist heute 45 Jahre alt. Er studierte Mathematik und Elektrotechnik an der Universität von Michigan und legte dort im Sommer 1936 die Diplomprüfung ab. Anschließend setzte er seine Studien am MIT fort, wo er vier Jahre später zum Ph. D. in Mathematik promovierte. Während dieser Zeit arbeitete er zugleich als Forschungsassistent und hatte wesentlichen Anteil an der Entwicklung des Differential Analyzer, dessen erste Version in jenen Jahren am MIT entstand.

Im Jahre 1940 ging Shannon zunächst für einige Monate an das Institute for Advanced Study in Princeton, und 1941 trat er in das Forschungslabor der Bell Telephone Laboratories ein. Während der folgenden 16 Jahre entwickelte er hier aus einem mathematischen Ansatz heraus die Informationstheorie, wofür er 1956 die Research Corporation Award erhielt.

In seiner Autobiographie, „I am a Mathematician", beschreibt Norbert Wiener Shannon als einen der stärksten Motore für die Entwicklung der elektronischen Rechenautomaten und darüber hinaus als einen der Wegbereiter für die Anwendung der symbolischen Logik in der Schaltkreistheorie.

Berühmt geworden ist Shannons Methode der Interpretation schwieriger und hintergründiger Sachverhalte durch einen Fernsehvortrag. Shannon trat hierbei mit einem schwarzen Kasten auf, den er als den vollkommenen Automaten vorstellte. Außen an diesem Kasten war ein Kippschalter angebracht, nach dessen Betätigung ein Motor brummte und langsam den Deckel hob. Aus dem Kasten langte daraufhin eine weißbehandschuhte Hand, griff nach vorn über den Kastenrand, betätigte den anfangs erwähnten Schalter, glitt zurück — und der Deckel fiel wieder zu. Auch der unkundige Laie dürfte aus diesem Scherzartikel die unmittelbar einleuchtende Erklärung finden für das, was der Fachmann einen „geschlossenen Regelkreis" nennt.

Seine außergewöhnlichen Verdienste erlaubten es Dr. Shannon, im Jahre 1956 von den Bell Telephone Laboratories Urlaub zu nehmen und eine Gastprofessur für elektrische Nachrichtentechnik am MIT anzutreten. Ein Jahr später wurde er festes Mitglied im Lehrkörper dieses Instituts und übernahm den ersten Lehrstuhl für Kommunikationsforschung und Mathematik. Im Frühjahr 1958 wählte man ihn in den Koordinierungsausschuß des neugegründeten Center for Communication Sciences am MIT. Und schließlich, im September 1958, übernahm er den (ebenfalls neu geschaffenen) Donner Chair of Sciences am selben Institut, den er bis heute innehat.

Zahlreiche Ehrungen, wie zum Beispiel der Ehrendoktor der Universität von Michigan, unterstreichen auch öffentlich die wissenschaftliche Bedeutung dieses Forschers. Sein Buch „The Mathematical Theory of Communication", das er 1949 zusammen mit W. Weaver veröffentlichte, sowie zahlreiche andere Publikationen sind in der Fachwelt wohlbekannt und gelten, obwohl die Entwicklung der Informationstheorie rasche Fortschritte gemacht hat, noch heute als Standardarbeiten. *Kbg.*

Die Berechnung der Lichtstreuung an kugelförmigen Teilchen mit einem Digitalrechner

The computation of light scattering on spherical particles by means of a digital computer

von R.-H. GIESE
Astronomisches Institut
der Universität Tübingen

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 6, S. 240—245
Manuskripteingang: 22. 8. 1961

Sowohl in der meteorologischen Optik als auch in der Astronomie treten Probleme der Lichtstreuung an dielektrischen und absorbierenden Teilchen von 10^{-1} bis 10^{-4} mm Durchmesser auf. In der vorliegenden Arbeit werden einige Beispiele hierfür angegeben und gezeigt, wie sich Berechnungen über die Lichtstreuung an kugelförmigen Teilchen von etwa 0,1 bis 2,5 μ Durchmesser mit Hilfe einer modernen elektronischen Rechenanlage nach der Mieschen Theorie ausführen lassen und welche Resultate sich bei der Durchführung solcher Rechnungen mit dem Siemens Digitalrechner 2002 ergeben haben.

Problems of light scattering by small particles (diameter 10^{-1} to 10^{-4} mm) of dielectric and absorbing materials are found in Astronomy and Meteorological Optics. Examples of such problems are given. It is described how calculations of Mie-scattering of spherical particles from 0,1 to 2,5 μ in diameter can be performed by means of a modern digital computer. The results of such calculations by the Siemens Digitalrechner 2002 are represented as well for dielectric as for absorbing spheres.

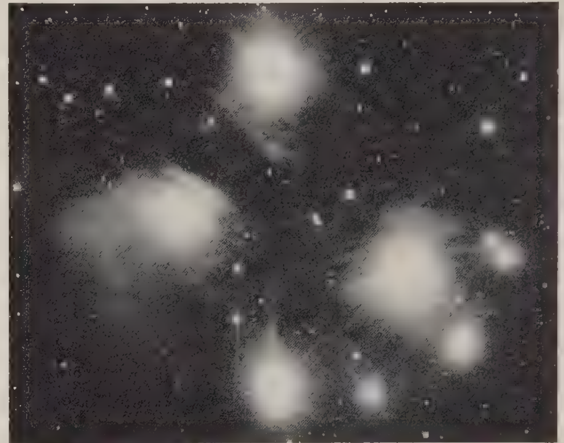


Bild 2.
Reflexionsnebel in den Plejaden. Yerkes Observatory Photograph.

1. Einleitung

Gewisse optische Erscheinungen in der Meteorologie und Astronomie lassen sich durch die Streuung von Licht an kleinen Teilchen von der Größenordnung 10^{-4} bis 10^{-1} mm erklären. Die Lichtstreuung im Strahl eines Scheinwerfers bei Nebel (z. B. Autoscheinwerfer), der Regenbogen und die gelegentlich auftretenden ,,Höfe" um Sonne und Mond sind allgemein bekannt. Aber auch weniger auffällige Erscheinungen werden durch Lichtstreuung verursacht. So beruht der sogenannte ,,Weiße Regenbogen" oder ,,Nebelbogen" [6] auf einer besonders starken Streuung des Lichtes in der etwa 145° gegen das einfallende Sonnenlicht gelegenen Richtung. Als Beispiel aus der Astronomie zeigt Bild 1 das besonders in den Tropen gut sichtbare Zodiakallicht. Dabei beleuchtet die Sonne, während sie für den Beobachter bereits unter dem Horizont steht, die staubförmige Materie im Planetensystem und erzeugt so eine Aufhellung des Himmels. Ebenso gibt es auch im fernen Weltraum Staubmassen, die von hellen Sternen beleuchtet werden und deren Licht streuen. Als Beispiel eines solchen ,,Reflexionsnebels" zeigt Bild 2 die von den hellen Sternen der Plejaden (,,Siebengestirn", ,,Gluckhenne") angestrahlte interstellare Materie. Weitere wichtige Streuerscheinungen in Astronomie und Meteorologie sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

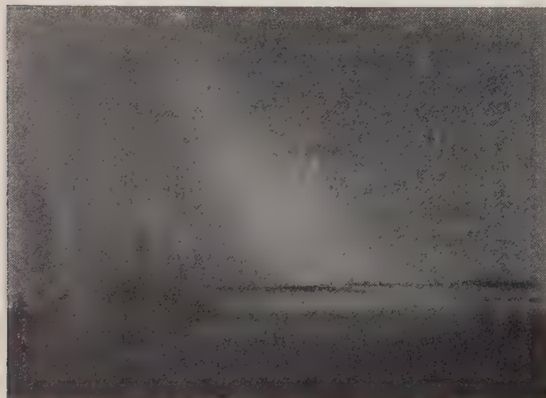


Bild 1. Zodiakallicht. Entnommen dem Werk ,,Astronomie" von Rudaux und Vaucouleurs m. frdl. Genehmig. des Verlags Larousse.

Zur quantitativen Diskussion der genannten Erscheinungen muß meist die Winkelabhängigkeit der Streustrahlung eines einzelnen Teilchens (z. B. Tröpfchens) bekannt sein. Bei größeren Streuobjekten setzt sich diese Streustrahlung aus der am Teilchen reflektierten, gebeugten und gebrochenen Strahlung zusammen. Bei Teilchen von der Größenordnung der Lichtwellenlänge dagegen ist eine solche Trennung nicht mehr möglich. Hier muß das Randwertproblem der Streuung einer einfallenden Lichtwelle an dem durch Form und Materialkonstanten charakterisierten Streuobjekt exakt gelöst werden. Entsprechend der Kugelgestalt der Teilchen (Nebel) oder in Ermangelung eines Besseren (Staubkörner) benutzt man den von *G. Mie* [1]

Tabelle 1. Lichtstreuung in der Astronomie und Meteorologie

	Erscheinung	Ursache
Astronomie	Interstellare Absorption und Rotfärbung des Sternlichtes	Interstellarer Staub Teilchengröße einige 10^{-4} mm Streuung, Absorption
	Reflexionsnebel (Vgl. Bild 2)	Von hellen Sternen beleuchteter interstellarer Staub Teilchengröße über 10^{-3} mm
	Fraunhoferkorona bzw. Zodiakallicht (Bild 1) bzw. Gegenschein	Vorwärts- bzw. Seitwärts- bzw. Rückwärtsstreuung des Lichtes der Sonne durch das interplanetare Staubgemisch, Teilchengrößen etwa 10^{-3} bis 1 mm
Meteorologie	Farbige Kränze um Sonne und Mond Irisierende Wolken	Wassertröpfchen von verhältnismäßig gleicher Größe (Durchm. zwischen $5 \cdot 10^{-3}$ mm bis $20 \cdot 10^{-3}$ mm)
	Aureolen	Wassertröpfchen der Wolken; Gemisch verschieden großer Tropfen (Mittlerer Durchm. etwa $1—2 \cdot 10^{-2}$ mm)
	Bishop-Ring (rötlich-braun ca. 35° Durchm.)	Streuung an Dunstteilchen von ca. $3 \cdot 10^{-4}$ mm Durchm. (nach Vulkanausbruch beobachtet)
	Halo (Sonne, Mond) (Ring 22° bzw. 46° Durchm.)	Lichtbrechung an Eiskristallen
	Nebelbogen	Streuung an Nebeltröpfchen
	Regenbogen	Lichtbrechung und Interferenz an Regentropfen von 0,5—1 mm Durchm.
	Glorie (Brockengespenst) (Heller Saum um Schatten des Beobachters auf Nebelwand)	Rückwärtsstreuung an Nebel (Tropfendurchm. $\sim 10^{-2}$mm)

angegebenen Lösungsformalismus für die Streuung an einer Kugel. Obwohl diese Lösung seit 1908 bekannt ist, konnte sie wegen des großen Rechenaufwands erst seit der Einführung elektronischer Rechenanlagen für umfangreichere numerische Rechnungen nutzbar gemacht werden (z. B. [7]).

2. Die MIE'sche Theorie [5]

In Bild 3 ist J_0 die Intensität des einfallenden unpolarisierten und parallelen Lichtes der Wellenlänge λ, welches auf eine Kugel vom Radius r als Streuobjekt auftrifft. Das Material der homogenen Kugel sei durch den Brechungsindex $m = m_1 - i \cdot m_2$ charakterisiert. Nur bei nicht absorbierenden ($m_2 = 0$) rein dielektrischen Stoffen ist der Brechungsindex reell. Statt des Radius r verwendet man

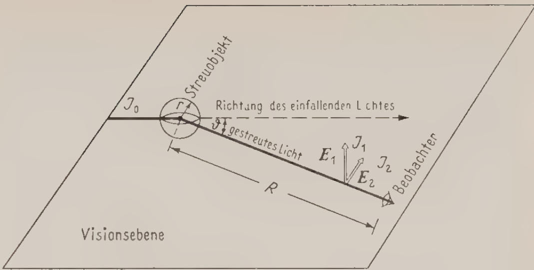


Bild 3. Lichtstreuung an der Kugel.

J_0	Intensität des einfallenden Lichtes (unpolarisiert),
J_1	bzw. J_2 Intensität des senkrecht bzw. parallel zur Visionsebene (elektrisch) polarisierten Streulichtes,
E_1, E_2	Elektrischer Vektor von J_1 bzw. J_2,
r	Kugelradius,
ϑ	Streuwinkel,
R	Entfernung Streuobjekt-Beobachter,
$m = m_1 - i m_2$	Komplexer Brechungsindex des Materials der (homogenen) Kugel.

in der *Mie*schen Theorie den dimensionslosen Größenparameter $\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}$ (Umfang / Lichtwellenlänge). Die Intensität des unter einem Winkel ϑ (Streuwinkel) gegen die Richtung des einfallenden Strahles gestreuten Lichtes ist in einer Entfernung R ($R \gg r$) vom Streuobjekt für die zur Visionsebene senkrechte bzw. parallele Schwingungsrichtung des elektrischen Vektors $\boldsymbol{E}_1$ bzw. $\boldsymbol{E}_2$

$$J_1 = \frac{J_0}{2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi^2 R^2} i_1 \text{ bzw. } J_2 = \frac{J_0}{2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi^2 R^2} i_2 .$$

Die den Streulichtintensitäten bis auf den Faktor $\frac{J_0 \lambda^2}{8\pi^2 R^2}$ proportionalen Streufunktionen i_1 (α, m, ϑ) bzw. i_2 (α, m, ϑ) ergeben sich nach *Mie* aus den unendlichen Reihen

$$i_1 = \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \pi_n + b_n \tau_n) \right|^2$$

$$i_2 = \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n \tau_n + b_n \pi_n) \right|^2$$

Näherungsweise erhält man i_1 bzw. i_2 durch Abbrechen der Reihen nach einer genügend großen Gliederzahl N ($N > \alpha$). In den Reihen sind die Faktoren π_n und τ_n nur vom Streuwinkel abhängig, während die Größe (α) und das Material (m) des Teilchens in die Mie-Koeffizienten a_n und b_n eingehen.

Die π_n (cos ϑ) und τ_n (cos ϑ) lassen sich aus den Ableitungen

$$\pi_n = \frac{\mathrm{d}\, P_n (\cos \vartheta)}{\mathrm{d}\,(\cos \vartheta)}$$

$$\pi_n' = \frac{\mathrm{d}\, \pi_n (\cos \vartheta)}{\mathrm{d}\,(\cos \vartheta)}$$

der Legendreschen Polynome P_n (cos ϑ) (Ordnung $n = 1, 2, 3 \ldots$) nach den in Bild 4 eingetragenen Formeln berechnen.

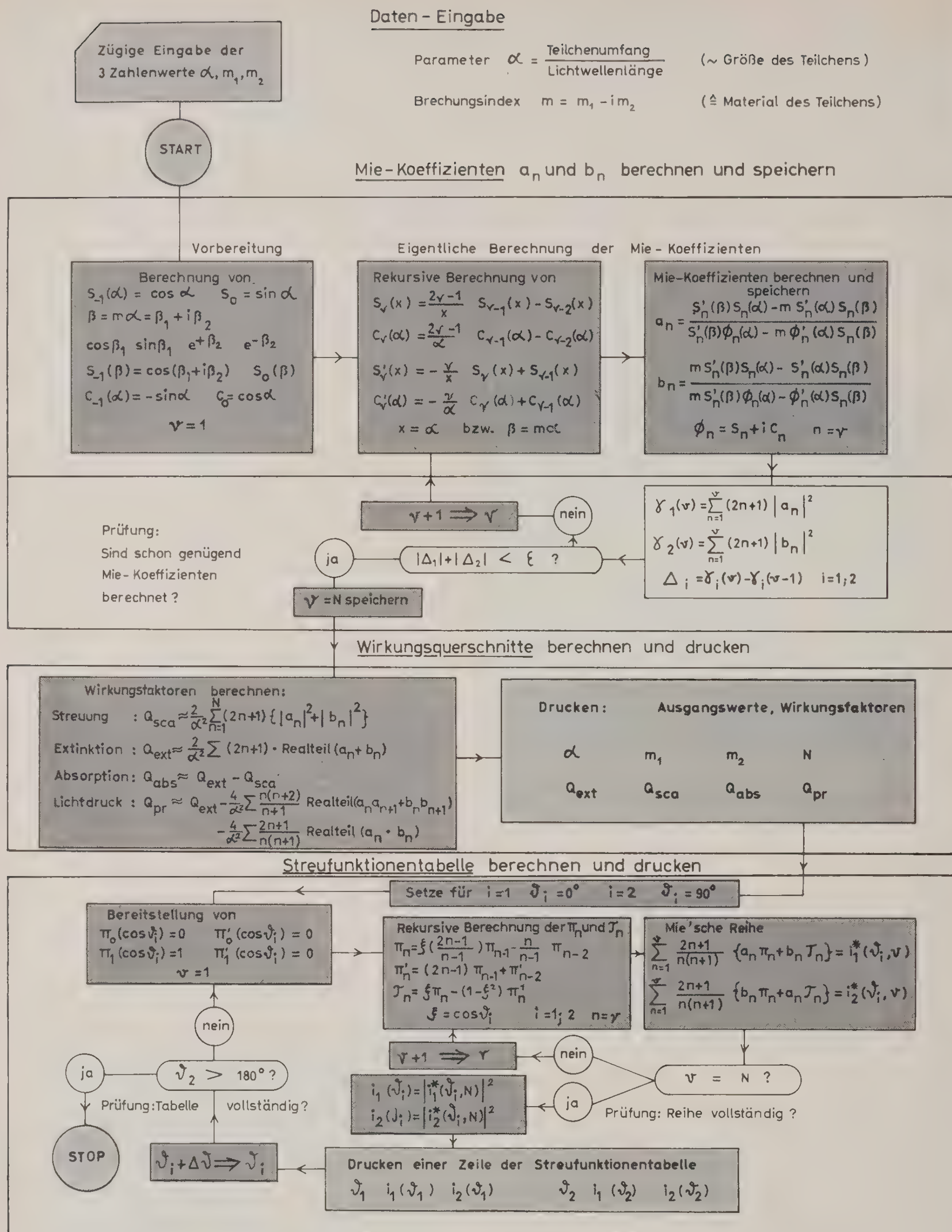


Bild 4. Blockschema zur Berechnung der Streufunktionen mit dem Digitalrechner (vgl. Text).
Dunkle Raster: Eingabe, Start, Druckprozesse und Ende.
Helle Raster: Die eigentliche Rechnung.
Weiß: Logische Entscheidungen und deren Vorbereitung (Schlußproben zum Abbrechen von Schleifen).

Die Mie-Koeffizienten setzen sich aus m und aus den Riccati-Besselfunktionen

$$S_n(x) = \sqrt{\frac{\pi x}{2}}\, J_{n+1/2}(x)$$

$$C_n(x) = (-1)^n \sqrt{\frac{\pi x}{2}}\, J_{-n-1/2}(x)$$

$$\Phi_n(x) = S_n(x) + i\, C_n(x)$$

zusammen (J ist die Besselfunktion). Da als Argument x hierbei außer α noch die für absorbierende Teilchen komplexe Zahl $\beta = m\,\alpha$ vorkommt, müssen die $S_n(\beta)$ und $S'_n(\beta)$ in Ermangelung von geeigneten Tabellen berechnet werden.

Außer den Streufunktionen werden gelegentlich auch noch die Wirkungsquerschnitte C für Extinktion, Absorption und Lichtdruck benötigt. Man erhält sie durch Multiplikation des geometrischen Querschnittes $r^2\,\pi$ der Teilchen mit den von r, m und λ abhängigen Wirkungsfaktoren Q.

3. Das Rechenmaschinenprogramm

Das Blockschema (Bild 4) des im Maschinencode des Siemens-Rechners verfaßten Programms vermittelt einen Eindruck von der hohen Zahl meist komplexer Rechenoperationen, welche die Maschine bei der Berechnung einer Streufunktion auszuführen hat.

Eingegeben werden außer dem Programm lediglich die 3 Zahlenwerte α, m_1 und m_2. Hieraus sind zunächst die Mie-Koeffizienten zu berechnen. Die hierzu notwendigen Riccati-Besselfunktionen könnte man prinzipiell aus elementaren trigonometrischen Funktionen zusammensetzen. Diese Möglichkeit erweist sich als zu umständlich. Auch die leichter zu programmierende Reihendarstellung von S_n und C_n ist hier unbrauchbar. Sie konvergiert zwar schnell, solange $x < n$ ist, jedoch traten bei Proberechnungen für Fälle mit $x > n$ durch Stellenauslöschung unerträgliche Genauigkeitsverluste auf. Dagegen erwies sich für den verwendeten Bereich von x und n die Genauigkeit des aus Bild 4 ersichtlichen Rekursionsverfahrens als ausreichend. Die hierzu benötigten Ausgangswerte werden über ein Unterprogramm für e^x, $\cos x$, $\sin x$ und komplexe Multiplikation und Division bereitgestellt. Aus den Riccati-Besselfunktionen werden sofort die Mie-Koeffizienten errechnet und gespeichert. Erst wenn die nach jedem Rekursionsschritt durchgeführte Schlußprobe ergibt, daß für die gewünschte Genauigkeit bei der Bildung der Mieschen Reihen hinreichend viele Koeffizienten berechnet sind, wird die Ordnung N des höchsten Koeffizienten für die folgenden Schlußproben gespeichert und das Rekursionsverfahren beendet.

Im daran anschließenden Programmteil werden die Wirkungsfaktoren für Extinktion, Absorption, Streuung und Lichtdruck nach den in Bild 4 eingetragenen Reihen berechnet und zusammen mit α, m_1, m_2, N und dem alphanumerischen Text ausgedruckt.

Bei der folgenden Berechnung der Streufunktionen werden für jeden Winkel ϑ die Mieschen Reihen berechnet und i_1 sowie i_2 ausgedruckt. Hierbei müssen nach einem von *Gumprecht* und *Sliepcevich* [4] erprobten Rekursionsverfahren zunächst die π_n und τ_n gebildet und dann mit den betreffenden, gespeicherten Miekoeffizienten multipliziert und zu den Mieschen Reihen aufaddiert werden. Erst bei der höchsten Ordnung N wird abgebrochen und nach Bildung des Betragsquadrats der Summen $i_1(\vartheta)$ und $i_2(\vartheta)$ ausgedruckt. Um in eine Zeile des Blattschreiberformulars jeweils zwei Winkelwerte mit den dazugehörigen Streufunktionswerten unterzubringen, wird dieser Rechengang parallel für die Winkel ϑ und $\vartheta + 90^0$ durchgeführt. Um eine vollständige Streufunktionentabelle zu erhalten, muß dieses Verfahren ausgehend von $\vartheta = 0$ mit Schrittweiten $\triangle\,\vartheta$ so lange wiederholt werden, bis als größter Winkel 180^0 erreicht ist. Auf diesem Kriterium beruht die Schlußprobe, welche die Maschine nach Fertigstellung der Tabelle stoppt.

ALPHA	RE(M)	IM(M)	N
+100000000052	+127000000051	-137000000051	+170000000052

EFFICIENCY FACTORS

EXTINCTION	SCATTERING	ABSORPTION	PRESSURE
+249025389051	+151156374251	+978690149050	+138540080951

SCATTERING FUNCTION

ANGLE	INTENSITY I	INTENSITY II	ANGLE	INTENSITY I	INTENSITY II
000	+395027085954	+395027095954	090	+111440976952	+508770195351
002	+381621727654	+378390347354	092	+107520444452	+512310520151
004	+343710966254	+331963479854	094	+105016024552	+475619677251
006	+287650234954	+265173381254	096	+103717353052	+423143053551
008	+222329173054	+190683504954	098	+103075574652	+382764212751
010	+157141402354	+120945295054	100	+102462053152	+373836874151
012	+100010110754	+651583472453	102	+101397859952	+400547414451
014	+559843764053	+275590083353	104	+996828383351	+452392530251
016	+267115932453	+740696808652	106	+974038942551	+510381428451
018	+108061156653	+408620722451	108	+948470505251	+555565165351
020	+487484899352	+859527418651	110	+923634665551	+576212402351
022	+480754558352	+366158557952	112	+902426751451	+571144894651
024	+693020792052	+557739651152	114	+886315524851	+549650149151
026	+873623257952	+549617468552	116	+875142926751	+522132507751
028	+909413440652	+388476450552	118	+867463590251	+504632449751
030	+801036349252	+187852009352	120	+861205555951	+504347397151
032	+614240546252	+455608228351	122	+854389462351	+522532758851
034	+428484785552	+513362309848	124	+845681551451	+554080164751
036	+299933899152	+304939526951	126	+834658504951	+590108268151
038	+246393966852	+858492163151	128	+821767050851	+621360943951
040	[illegible]	+119734768052	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Bild 5. Beispiel einer vom Digitalrechner ausgedruckten Streufunktionentabelle.
Alpha α = Größenparameter = Umfang/Wellenlänge.
RE (M), IM (M) = Real- und Imaginärteil des komplexen Brechungsindex ($m = m_1 - m_2 i$ = RE (M) + IM (M)).
N Ordnung des höchsten Reihengliedes der Mieschen Reihe.
Efficiency Factors: Wirkungsfaktoren Q zur Berechnung der Wirkungsquerschnitte $C = r^2 \pi\, Q$ für Extinktion bzw. Streuung bzw. Absorption bzw. Lichtdruck.
Angle = Streuwinkel ϑ.
Intensity I / Intensity II — Streufunktion i_1 / i_2 (~ Streulichtintensität) in den beiden Polarisationsrichtungen.
Außer den Winkeln alle Zahlen in normalisierter Gleitkommadarstellung. Auf die mögliche Umwandlung in vierstellige Festkommazahlen wurde verzichtet, da die auf Lochstreifen ausgedruckten Resultate anschließend zu weiteren Gleitkommarechnungen verwendet wurden.

Eine Streufunktionentabelle, wie sie für den Fall $\alpha = 10$ $m = 1.27 - 1.37\,i$ und $\triangle\,\vartheta = 2^0$ vom Rechner ausgedruckt wurde, ist in Bild 5 dargestellt. Die Zeit für Berechnung und Drucken einer solchen Tabelle beträgt je nach Teilchengröße 5—10 Minuten. Bei der Ausgabe über ein Analogsichtgerät ließe sich diese Zeit noch mindestens auf ein Drittel verkürzen. (Genauigkeit 3—4 Stellen.) Ferner entfällt dann bei der photographischen Aufnahme des Bildschirms die menschliche Arbeitszeit für die Übertragung der gedruckten Tabellen in eine gezeichnete Kurve.

4. Ergebnisse

Das beschriebene Programm wurde am Astronomischen Institut der Universität Tübingen zur Berechnung der Polarisation des Zodiakallichtes entwickelt und eingesetzt. Danach wurde es an das Meteorologische Institut der Universität Mainz weitergegeben, wo man es abgeändert am Siemens Digitalrechner der Universität Mainz bei der Berechnung von Streufunktionen für meteorologische Untersuchungen verwendete. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die bis jetzt in Tübingen (T) und Mainz (M) berechneten Fälle.

Die wichtigsten Eigenschaften der Streufunktionen lassen sich aus Bild 6a und 6b aus dem Beispiel zweier Kugeln von verschiedenem Material aber gleicher Größe ($\alpha = 10$) ersehen. Die Teilchen zeigen im Bereich der Vorwärtsstreuung ($\vartheta = 0$) ein praktisch vom Material unabhängiges Maximum ($i_1(0) = i_2(0)$) der Intensitätsfunktionen. Dagegen ist der Verlauf der Streufunktion außerhalb des

Tabelle 2. Berechnete Streufunktionen und Wirkungsfaktoren. T in Tübingen, M in Mainz berechnet. Literatur: [2]; [3].

Brechungsindex m	Umfang/Wellenlänge α	Streuwinkel ϑ [°]		Bemerkungen
1,33	1 (1) 40	0 (2) 180	T	Wasser
1,33	25, 50	0 (0,5) 180	T	
1,33	100	0 (0,2) 180	T	
1,55	7 (1) 40	0 (2) 180	T	etwa Quarz, Staub
1,50	1 (1) 80 (2) 150	0 (2) 180	T	etwa Quarz, Staub
1,50	25, 50	0 (0,5) 180	T	
1,50	100	0 (0,2) 180	T	
1,50	1,5 (0,2) 60	5	M	
1,50	1 (0,2) 160	10	M	
1,50	3 (0,2) 159	90	M	
1,50	60	0 (0,2) 180	M	
1,50	2 (0,2) 160	Nur Q_{ext}	M	
1,27—1,37 i	0,25 (0,25) 1,5 2 (0,5) 7 (1) 40	0 (2) 180	T	Eisen λ = 448 mμ
1,46—2,68 i	5 10	0 (2) 180	T	Nickel λ = 440 mμ
1,38—1,5 i	1 (1) 3 4 (2) 16	0 (10) 180	T	Eisen λ = 508 mμ
1,7 —1,84 i	1 (1) 3 4 (2) 16	0 (10) 180	T	Eisen λ = 668 mμ
1,41—4,1 i	1 (1) 3 4 (2) 12	0 (10) 180	T	Zink λ = 508 mμ
1,33—k i	1; 5; 10; 15;	0 (2) 180	T	k = 0,05; 0,5 1,33; 3,0
1,29 (1—ki)	1 (1) 10 1 (1) 25 1 (1) 35	Nur Q_{ext} Q_{abs} Q_{pr}	T	k = 4; 1,73; 1,0; 0,5; 0,05
1,38—1,50 i	1 (1) 37	Q_{ext} Q_{abs} Q_{sca} Q_{pr}	T	Eisen λ = 508 mμ
1,70—1,84 i	1 (1) 30	Q_{ext} Q_{abs} Q_{sca} Q_{pr}	T	Eisen λ = 668 mμ
1,50—3,10 i	0,5 (0,5) 4 (1) 17	Q_{ext} Q_{abs} Q_{sca} Q_{pr}	T	Nickel λ = 508 mμ

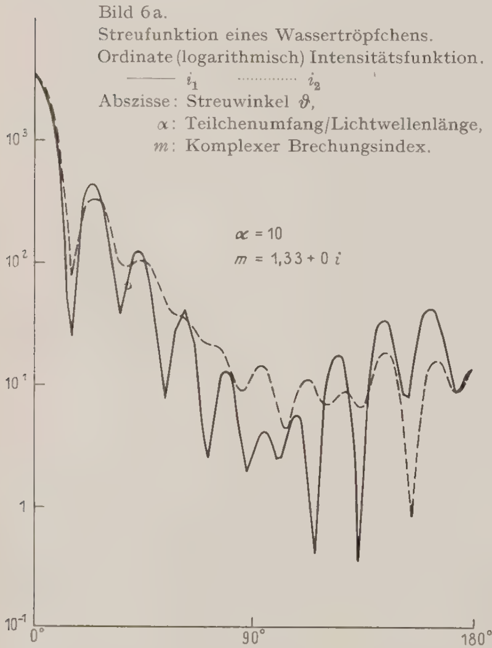


Bild 6a.
Streufunktion eines Wassertröpfchens.
Ordinate (logarithmisch) Intensitätsfunktion. ——— i_1 ············ i_2
Abszisse: Streuwinkel ϑ,
α: Teilchenumfang/Lichtwellenlänge,
m: Komplexer Brechungsindex.

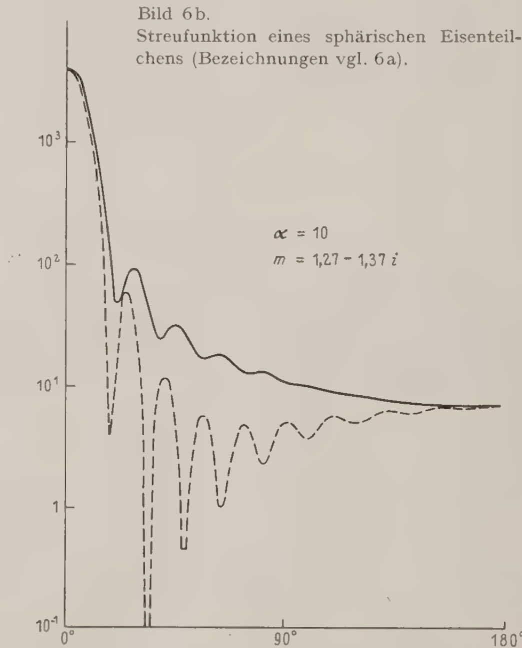


Bild 6b.
Streufunktion eines sphärischen Eisenteilchens (Bezeichnungen vgl. 6a).

Bereiches der Vorwärtsstreuung sehr verschiedenartig. Das rein dielektrische Wassertröpfchen (m = 1,33) zeigt mehrere ausgeprägte Extrema von i_1 und i_2. Die Zahl der Maxima im Bereich $0 \leqq \vartheta \leqq 90$ ist nach einer Faustregel von *van de Hulst* ungefähr gleich $\frac{\alpha}{2}$. Das bedeutet, daß bei größeren Teilchen die Streufunktion mit sehr engen Winkelintervallen berechnet werden muß, um alle Extrema erfassen zu können. Ferner überschneiden sich bei dem dielektrischen Teilchen i_1 und i_2 mehrmals. Dieser Effekt führt zu einem mit dem Streuwinkel häufig das Vorzeichen wechselnden Polarisationsgrad $p = \frac{i_1 - i_2}{i_1 + i_2}$. Dagegen zeigt das Eisenteilchen (m = 1,27 — 1,37 i) überall positive

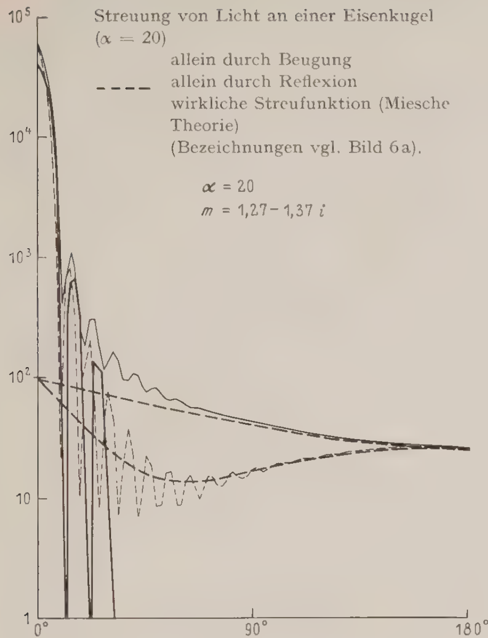


Bild 7.
Streuung von Licht an einer Eisenkugel ($\alpha = 20$)
allein durch Beugung
– – – – allein durch Reflexion
wirkliche Streufunktion (Miesche Theorie)
(Bezeichnungen vgl. Bild 6a).

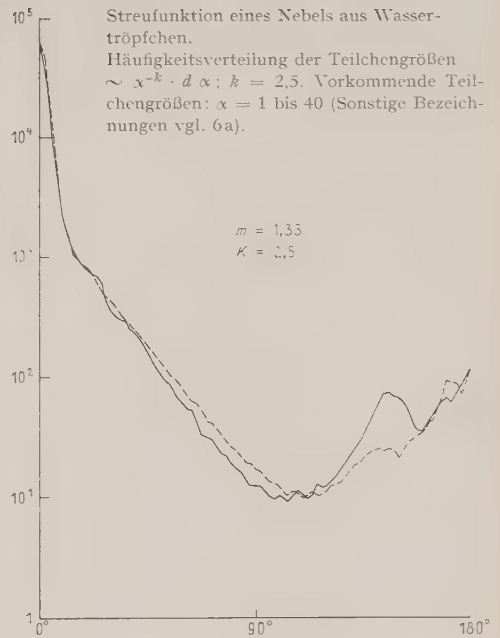


Bild 8.
Streufunktion eines Nebels aus Wassertröpfchen.
Häufigkeitsverteilung der Teilchengrößen $\sim x^{-k} \cdot d\,\alpha$; $k = 2{,}5$. Vorkommende Teilchengrößen: $\alpha = 1$ bis 40 (Sonstige Bezeichnungen vgl. 6a).

Polarisation ($i_1 > i_2$) und einen ruhigeren Verlauf von i_1. Eine Erklärung dieses Verhaltens läßt sich für größere Teilchen (z. B. $\alpha = 20$) aus Bild 7 finden. Hier ist außer der Streufunktion (dünn gezeichnet) die durch Beugung an einer Kreisscheibe von gleichem Querschnitt wie die Kugel entstehende Beugungsfigur eingetragen (dick durchgezogen). Die dick gestrichelte Intensitätsfunktion zeigt einen Verlauf, wie er sich bei alleiniger Berücksichtigung der Reflexion auf Grund der Fresnelschen Reflexionskoeffizienten ergäbe. Aus der Übereinstimmung der tatsächlichen Streufunktion mit diesen Näherungskurven zeigt sich, daß man hier die Vorwärtsstreuung als einen Effekt der Beugung und die Streuung im Bereich $90^0 \leqq \vartheta < 180^0$ vorwiegend als eine Folge der Reflexion betrachten darf. Während die in die Kugel eindringende Strahlung bei genügend großem α in absorbierenden Teilchen vernichtet wird, kommt bei rein dielektrischen Stoffen noch die Wirkung von Interferenzen mit der im Teilchen gebrochenen Strahlung hinzu. Das erklärt qualitativ den komplizierteren Verlauf der Streufunktionen von dielektrischen Kugeln (Wassertröpfchen).

Mittelt man bei der Berechnung der Streufunktion eines Gemisches verschieden großer Teilchen über die Streufunktionen der Einzelteilchen, so erhält man Streufunktionen der Art von Bild 8. Sie zeigt den Fall eines Nebels aus Wassertröpfchen mit einer Häufigkeitsverteilung der Teilchengröße $n(\alpha) \sim \alpha^{-2,5}\,d\alpha$ und $1 \leqq \alpha \leqq 40$. Die zahlreichen Extrema der Streufunktionen haben sich weitgehend ausgemittelt. In Übereinstimmung mit der Beobachtung tritt eine sehr starke Vorwärtsstreuung und eine kräftige Rückwärtsstreuung auf. Diese Erscheinung ist z. B. für die jedem Autofahrer bekannte starke Blendung durch Fernlichtscheinwerfer bei Nebel verantwortlich.

5. Schlußbemerkung

Der Verfasser möchte diesen Bericht nicht schließen, ohne all jenen zu danken, die ihn bei der Durchführung der Arbeiten gefördert haben. Dank gebührt zunächst Herrn Prof. Dr. *H. Siedentopf* für die Anregung zu dieser Arbeit und sein stetes förderndes Interesse.

Das Entgegenkommen des Hauses *Siemens & Halske* ermöglichte es, schon vor Auslieferung der Tübinger Anlage in München einige Proberechnungen mit Tübinger Unterprogrammen vorzunehmen. Ein erheblicher Teil der eigentlichen Rechnungen wurde am Rechenzentrum der TH Aachen durchgeführt. Für alle weiteren Arbeiten wurde vom Tübinger Rechenzentrum stets in großzügiger Weise Rechenzeit gewährt. Den Leitern der genannten Rechenzentren sei hier nochmals herzlich Dank gesagt. Außerdem bin ich Herrn Prof. *K. Zeller* sowie auch Herrn Dipl.-Math. *Knittel* und den Kollegen vom Tübinger Rechenzentrum für wertvolle Hinweise bei der Programmierung sehr verbunden.

Literatur

[1] *M. Born, E. Wolf,* Principles of Optics. New York 1959 (Neuauflage von „Born, Optik").

[2] *K. Bullrich* u. a., Streufunktionen für $m = 1.50$ (erscheint in Abhdlg. d. Deutschen Akademie der Wissenschaften).

[3] *R. H. Giese,* Lichtstreuung an sphärischen Metallpartikeln. Z. Naturforsch. 14a, 1085 (1959).
Streuung elektromagn. Wellen an absorb. und dielektr. kugelförmigen Teilchen und an Gemischen solcher Teilchen. Z. f. Astrophysik 51, 119 (1961).
Beispiele berechneter Streufunktionen von größeren kugelf. Teilchen mit d. Brechungsindizes 1,33 und 1,5 Meteorolog. Rundschau, 14, 48 (1961).

[4] *R. Gumprecht,, C. Sliepcevich,,* Riccati Bessel Functions for Large Arguments and Orders sowie Tables of First and Second Partial Derivates of Legendre Polynomials Eng. Res. Inst., Univ. of Michigan 1951.

[5] *H. C. van de Hulst,* Light Scattering by Small Particles. New York 1957.

[6] *F. Volz,* Die Farbenphotographie in der atmosphär. Optik III. Agfa Photographie und Wissenschaft 4, 3 (1955).

[7] *H. Walter,* Streulichtintensität großer sphärischer Partikel. Optik 14, 130 (1957). Optik 16, 401 (1959).

Der Magnetkernspeicher der PERM

The magnetic core memory of the PERM computer

von F. TSUI und H. PILOTY
Technische Hochschule München

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 6, S. 246—253
Manuskripteingang: 18. 8. 1961

Ein volltransistorisierter Magnetkernspeicher mit einer Kapazität von 2048 Worten zu je 51 Bits und einer Zykluszeit von 8 µsek wurde für die PERM gebaut. Einige unkonventionelle Züge, die zur Wirtschaftlichkeit bzw. größeren Betriebssicherheit beigetragen haben, werden in Einzelheiten beschrieben. Diese sind: eine vereinfachte Fädelweise der Lesewicklung in der Speichermatrix, eine wirkungsvollere Leseverstärkerschaltung, und die weitgehende Verwendung der Sperrschwingerschaltung. Der Speicher hat keine Temperaturregelung, verwendet keinen PWD-Impuls und arbeitet sicher im Temperaturbereich von 15°C bis 45°C oder mehr. Er enthält etwa 650 Transistoren und 2180 Dioden, sein Gesamtleistungsverbrauch beträgt etwa 360 W.

A transistorized magnetic-core memory with a capacity of 2048 51-bit words and a cycle time of 8 µs has been constructed. Several non-conventional features, which have contributed to economy and higher reliability, are described in detail. These are: a simplified way of threading the sense winding in the memory matrix, a new efficient sense-amplifier circuit, and the extensive application of the blocking-oscillator circuit. The memory has no temperature regulation, uses no PWD-pulse, and functions reliably in the temperature range 15° C to 45° C. It contains some 650 transistors and 2180 diodes. Its total power consumption is about 360 W.

1. Einleitung

Die PERM (Programmgesteuerte Elektronische Rechenanlage München) am Rechenzentrum der Technischen Hochschule München ist ein Großdigitalrechner für wissenschaftliche Zwecke. Sie wurde Mitte 1956 in ihrer in [1] beschriebenen ersten Aufbaustufe in Betrieb genommen und arbeitete von 1958 bis 1959 in Tag- und Nachtschichten. Seit Ende 1959 wurde sie umgebaut und erreichte im Frühjahr 1961 ihre endgültige zweite Ausbaustufe. Sie soll nur noch durch Hinzufügen von Magnetbandspeichern erweitert werden.

Der Umbau griff tief in das Befehlssystem und seine technische Realisierung ein, erhöhte die sichere Arbeitstaktfrequenz auf 500 kHz und ergänzte die Anlage vor allem durch einen selbstentwickelten Magnetkernspeicher, über den hier etwas genauer berichtet werden soll, da er einige unkonventionelle Züge trägt. Abgesehen vom Magnetkernspeicher sind die Hauptmerkmale der PERM in Ausbaustufe II in Tabelle 1 zusammengestellt.

Mit diesen Hauptmerkmalen kennzeichnet sich die PERM als eine nach heutigen Begriffen mittelschnelle und ziemlich leistungsfähige Großrechenanlage. Zur besseren Ausnützung der Geschwindigkeit des Rechenwerks lag der Wunsch nahe, den Trommelspeicher durch einen schnelleren Kernspeicher zu ergänzen.

In folgenden Abschnitten werden zuerst Ausgangspunkt und Ziel der Entwicklung sowie der daraus folgende Gesamtplan des Magnetkernspeichers kurz erläutert. Einige Besonderheiten, durch welche sich dieser Magnetkernspeicher von den üblichen unterscheidet, werden dann ausführlicher beschrieben.

Tabelle 1. Zusammenstellung der wesentlichen Merkmale der PERM (Stand: Frühjahr 1961).

Technische Einzelheiten	500 kHz Taktfrequenz, kombinierte Röhren- und Diodenlogik, „asynchroner" Betrieb, etwa 2700 Röhren, ca. 18 kW Leistungsverbrauch
Informationsdarstellung	Wortlänge 51 Bit Zahlwort: Exponent 8 + 1 Bit, Mantisse 40 + 1 Bit, Markierung 1 Bit Befehlswort: Operationsteil 20 Bit (5 Tetraden), Adresse 16 Bit, Adressenmod. 2 Bit, Markierung 1 Bit
Rechenwerk	parallel, binär, mit festem und mit gleitendem Komma Rechenzeiten: Addition: fest 8 µs, gleitend minimal 30 µs; Multiplikation: im Mittel 340 µs
Steuerwerk	5 frei kombinierbare, seriell ausgeführte Befehlstetraden, eine Adresse, zwei Adressenmodifikationsarten, minimale Befehlszykluszeit 70 µs
Trommelspeicher	parallel, 8192 Worte, 250 U/s, Zugriffszeit: im Mittel 2 ms; sequentiell 500 µs
Ein- und Ausgabe	Fernschreiber, Lochstreifenabtaster (300Z/s), Streifenschnellstanzer (150 Z/s), fest eingebaute Konvertierung

2. Konstruktion des Magnetkernspeichers

Ausgangspunkt der Entwicklung war die Aufgabe, einen an die Eigenschaften der PERM angepaßten Magnetkernspeicher zu bauen, weiter aber auch die Tatsache, daß aus einer großzügigen Spende der Firma IBM Deutschland etwa 112000 geprüfte Ferritspeicherkerne (Typ Valvo 6D3, Außen ⌀ = 2 mm, I_m = 760 mA) für eine Kernspeicherkapazität von 2048 Zellen mit je 51 Bit zur Verfügung standen. Die für den Speicherentwurf wesentlichen Daten der PERM waren die folgenden:

1. Die im vorherigen Abschnitt erwähnte minimale Befehlsfolgezeit von 70 µs und die Tatsache, daß in einem Befehlszyklus normalerweise höchstens drei Speicheraufrufe vorkommen können, bestimmen, daß ein *mittelschneller*[1]) Kernspeicher für die Geschwindigkeit der PERM ausreichen würde. Dementsprechend war das Hauptziel der Entwicklung, einen mittelschnellen Kernspeicher möglichst wirtschaftlich und betriebssicher zu bauen.

[1]) d. h. ein Kernspeicher mit einer Zykluszeit von 5—10 µs.

2. Für den Informationsverkehr zwischen dem Kernspeicher und dem Rechner waren folgende Gegebenheiten zu berücksichtigen:

(A) Ankommende Information

a) Adresse: Inhalt des Adressenregisters (AR) in der Form von 22 Ausgangsspannungen von 11 Röhren-Flipflops.

b) Wortinhalt: Inhalt des Akkumulatorregisters (AC) in der Form von 51 Ausgangsspannungen von 51 Flipflops.

c) Entscheidung Lesen/Speichern: 2 Ausgangsspannungen von einem Flipflop.

d) Entscheidung Wort-einspeichern/Adressenteil-einspeichern: 2 Ausgangsspannungen von einem Flipflop.
(Flipflop-Ausgangsspannung = + 5 V bzw. —35 V für ,,1" bzw. ,,0".)

e) Aufruf: Impuls (+ 10 V, 0,4 μs breit).

f) Taktpuls: mit einem Impulsfolgeabstand von 4 μs[2]), zur Synchronisierung des Speicherschluß-Impulses (siehe unten).

(B) Abgehende Information

a) Wortinhalt: Meldungsimpulse (+ 18 V und 0,4 μs breit für ,,1", kein Impuls für ,,0") auf 51 Leitungen, die durch gesteuerte Gatter wahlweise nach dem Multiplikandenregister (MD) oder Adressenregister (AR) und Befehlsregister-Operationsteil (BROP) geleitet werden.

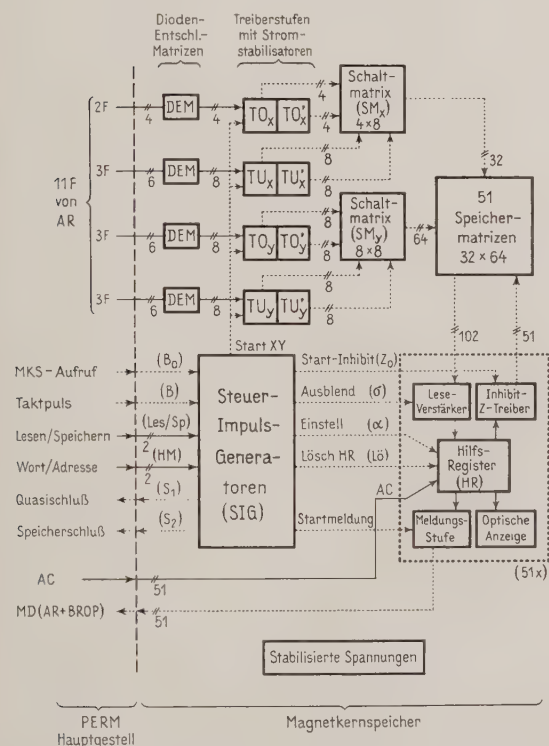


Bild 1. Gesamtkonstruktion des Magnetkernspeichers der PERM.

[2]) Die Taktfrequenz der PERM ist 500 kHz, was einen Taktpuls mit einem Folgeabstand von 2 μs entspricht. Diese Taktfrequenz ist für die Operationen Addition und Verschiebung maßgebend. Aus diesem Taktpuls ist eine Hauptimpulsreihe und eine um 2 μs zeitlich verschobene Hilfsimpulsreihe von je 4 μs Abstand abgeleitet. Im Interesse der Übersichtlichkeit beginnen alle Macrobefehle — so auch der Kernspeicher-Aufruf — synchron mit der Hauptimpulsreihe.

b) Speicher-Quasischluß-Impuls: Dieser meldet, daß der Inhalt des AR nicht mehr gebraucht wird. Darauf kann AR gelöscht werden, um gegebenenfalls neue Adresseninformation aufzunehmen.

c) Speicherschluß-Impuls: Dieser meldet, daß die Speicheroperation beendet ist. Der Speicher ist für den nächsten Aufruf bereit.

3. An folgende besondere Gegebenheiten der PERM sollte der Kernspeicher noch angepaßt werden:

(A) Zum schnellen Auslesen von Befehlen mit ,,Adresse von Adresse" (Substitution der Adresse in einem Befehl durch die unter dieser Adresse gespeicherte Adresseninformation, [2] was normalerweise in einem Befehl nicht mehr als zweimal vorkommt) war eine Zykluszeit von 8 μs erwünscht.

(B) Um eine wesentliche Steigerung der an sich schon erheblichen Wärmeentwicklung im Maschinenraum zu vermeiden, sollte die moderne Technik der Transistor-Elektronik im Kernspeicher (trotz der aufwendigeren Anpassung an die Röhren-Elektronik des Rechners) weitgehend verwendet werden. Es sollte der Versuch unternommen werden, die Kernspeicher-Elektronik ausschließlich mit deutschen Halbleiterelementen zu bestücken, um ihre Verwendungsmöglichkeit in der Impulstechnik zu untersuchen und um später die Ersatzteilbeschaffung zu erleichtern.

(C) Aus Platzgründen waren für die Verbindung zwischen dem Kernspeicher und dem Rechner lange Koaxialkabel mit verhältnismäßig hoher Kapazität erforderlich.

All diese Forderungen sind in dem nachstehend beschriebenen Kernspeicher weitgehend erfüllt worden. Die Speichermatrizen wurden im Labor selbst gefädelt. Die Elektronik ist volltransistorisiert, und zwar mit insgesamt etwa 650 Transistoren (Haupttypen: Telefunken OC613, AF105 und ASZ10) und 2180 Dioden (Telefunken OA159, 160, 161, 180 und 182). Die minimale Zykluszeit ist aus Organisationsgründen auf 8 μs festgelegt. Der Gesamtleistungsverbrauch des Kernspeichers beträgt etwa 360 W.

Der Kernspeicher arbeitet nach dem konventionellen Stromkoinzidenz-Prinzip der Adressenwahl [3]. Ein Blockdiagramm der Gesamtkonstruktion zeigt Bild 1.

Vier Dioden-Entschlüsselungsmatrizen (DEM) konvertieren die von 11 Flipflops ($2^{11} = 2048$) im Adressenregister (AR) dargestellte Arbeitsadresse in Steuerspannungen, die, zusammen mit vom Steuerimpulsgenerator (SIG) stammenden Treiber-Start-Impuls je eine Treiberstufe in den 4 Treibergruppen aktivieren, die an 2 Dioden-Übertrager-Schaltmatrizen (eine 4×8, eine 8×8) angeschlossen sind. Die 32 und 64 Ausgänge der Schaltmatrizen steuern dann die 51 in Reihe zusammengeschalteten Speichermatrizen an. Für jede Speichermatrixebene (ein Bit) ist eine LZ-Platte angeschlossen, die einen Leseverstärker, ein Hilfsregister-(HR)-Flipflop mit optischer Anzeige, eine Meldungsstufe und einen Z-(,,Inhibit")-Treiber enthält. Der Leseverstärker verwertet durch Ausblendung (,,strobing") das beim Lesen in der Lesewicklung der Speichermatrix auftretende Signal und stellt das Hilfsregister entsprechend ein, und die Meldungsstufe gibt die ausgelesene Information an den Rechner (wahlweise nach MD oder AR und BROP) weiter. Beim Einspeichern wird das Hilfsregister von einem Einstellimpuls aus SIG nach dem Inhalt des Akkumulatorregisters im Rechner gesetzt und die Meldungsstufe bleibt inaktiv. Der Z-Treiber liefert je nach dem HR-Inhalt (,,0" bzw. ,,1") einen bzw. keinen Inhibit-Stromimpuls. Die Steuerimpulse aus dem Steuerimpuls-Generator kommen nicht alle gleichzeitig. Bild 2 zeigt ihre gegenseitige zeitliche Lage und auch die Zuordnung zu den Ansteuerungsimpulsen X und Y sowie zum Inhibit-Impuls.

Manche Einzelheiten in der Konstruktion und der Schaltkreistechnik gehören zu der bekannten konventionellen

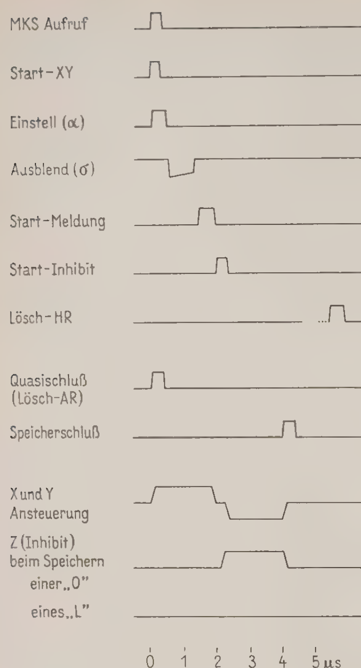


Bild 2. Impulsplan des Magnetkernspeichers.

Technik der digitalen Elektronik und werden hier nicht mehr beschrieben. Die Maßnahmen, die zur Wirtschaftlichkeit oder Betriebssicherheit beigetragen haben, sind:

1. eine vereinfachte Fädelweise der Lesewicklung in der Speichermatrix;
2. die Ansteuerung der Speichermatrizen über Schaltmatrizen;
3. die Realisierung der logischen Verknüpfungen ausschließlich mit Dioden und Widerständen;
4. die Entwicklung einer neuen Leseverstärkerschaltung, die trotz ihrer Wirtschaftlichkeit große Betriebssicherheit aufweist;
5. die weitgehende Verwendung der Sperrschwingerschaltung;
6. die Bauweise von Steckeinheiten mit geätzter Schaltung;
7. die ausschließliche Verwendung von grobtolerierten Widerständen ($\pm 10\%$) und Kondensatoren.

Hiervon werden die unter 1., 4. und 5. genannten Maßnahmen in den folgenden Abschnitten im einzelnen beschrieben.

3. Konstruktion der Speichermatrizen

Jede der 51 Matrizenebenen enthält 2048 Kerne. Sie wurden im Labor unter Mitwirkung von Werkstudenten gefädelt. Wie es bei Speichermatrizen mit Reihenanschluß der Stromkoinzidenz-Ansteuerung üblich ist, durchlaufen jeden Speicherkern 4 Drähte: zwei Adressenwahl-Leitungen (X und Y), ein Inhibit- (Z) und ein Lesesignaldraht (S). Um jedoch die Fädelarbeit zu vereinfachen, wurde die diagonale Fädelweise der Lesewicklung vermieden. Statt dessen wurde die Lesewicklung parallel zu den X- und Z-Drähten angeordnet, so daß kein Draht diagonal und nur die Y-Drähte in der Matrix quer durchgefädelt zu werden brauchten.

Die Kompensation der Störsignale wurde durch die nachstehend beschriebene Ausführung der Lesewicklung erreicht (Bild 3). Die Matrix mit 2048 Kernen wurde in 2 Halbebenen mit je 1024 Kernen (in 32 Reihen und 32 Spalten) geteilt. Die mäanderförmig und parallel zu den X- und Z-Drähten geführte Lesewicklung in jeder der beiden Halbebenen wurde in der Mitte (nach 16 Reihen) unterbrochen, und die zwei Hälften wurden dann gegensinnig wieder in Reihe zusammengeschlossen. Die Lesewicklung der zwei Halbebenen wurden dann ebenfalls gegensinnig in Reihe zusammengeschlossen. Wie Messungen und später die Betriebsergebnisse gezeigt haben, ist die in dieser Weise gefädelte Lesewicklung in der Kompensationswirkung der bekannten diagonal gefädelten vollkommen gleichwertig.

Die Aufteilung der Matrix in zwei Halbebenen hat außerdem noch einen anderen Vorteil. Die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls eines gefädelten Rahmens ist bei gleicher Kernausfallwahrscheinlichkeit — etwa verursacht durch Beschädigung beim Fädeln — nur noch halb so groß. Da die Halbebenen untereinander austauschbar sind, bedeutet dies, daß auch die Zahl der benötigten Reserverahmen bzw. die zu wiederholende Fädelarbeit halbiert wird.

Für das praktische Fädeln, wurden einige Methoden und Einrichtungen entwickelt, die die Arbeitsgänge erheblich vereinfachten. Die 1024 Kerne für eine Halbebene wurden zuerst auf drei langen Drähten (die später die S- und Z-Wicklungen und, nach Aufschneiden in 32 Teile, die X-Leitungen werden sollten) aufgereiht und in 32 Gruppen von je 32 Kernen voneinander getrennt gehalten. Die Drähte mit den Kernen wurden dann mäanderförmig aufgespannt, die Kerne mit Hilfe eines kammartigen Klemmstückpaars spaltenweise in die richtigen schrägen Stellungen gebracht

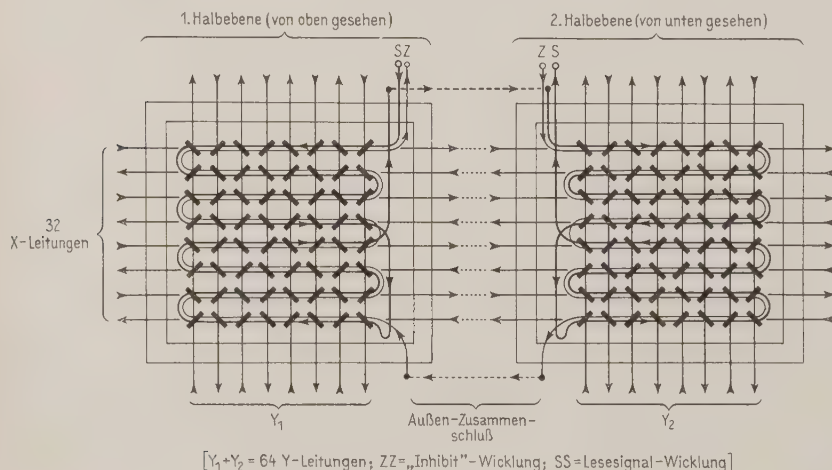


Bild 3. Konstruktion der 32×64 Speichermatrix.

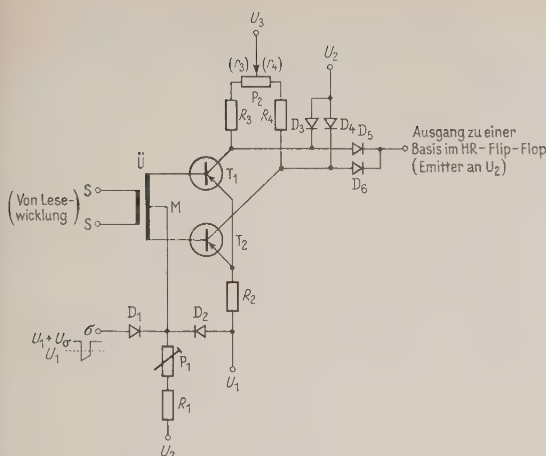


Bild 4. Die Leseverstärkerschaltung.

U_1	=	+40 V
U_2	=	+24 V
U_3	=	—100 V
U_σ		5 V
Ü	=	8:15:15
P_1; P_2	=	10 kΩ
R_1	=	12 kΩ
R_2	=	10 Ω
R_3; R_4		33 kΩ
T_1; T_2	=	Telefunken OC 613
D_1; D_3 — D_6	=	Telefunken OA 161 oder OA 159
D_2	=	Telefunken OA 180

und schließlich der Querdraht (Y-Leitung) durchgefädelt. Auf diese Weise bereitete auch das Fädeln der Querdrähte keinerlei Schwierigkeiten.

4. Die Leseverstärkerschaltung

Die verschiedenen durch Veröffentlichungen ([4] bis [11]) bekannten Transistorschaltungen für den Leseverstärker mit Ausblendung („strobing") benötigen 4 bis 9 (oder mehr) Transistoren. Diese Schaltungen üben die folgenden Funktionen aus:

1. Spannungsverstärkung: entweder durch hochtransformierenden Impulsübertrager, oder durch Übertrager und einfachen Verstärker, oder durch Übertrager und einen Gegenphasenverstärker.
2. Gleichrichtung: entweder durch eine Dioden- „oder" -Schaltung oder Brückenschaltung, oder durch eine 2-Transistor- „oder" -Schaltung (Gegenphasen-Eingänge und gemeinsamer Emitterfolger-Ausgang).
3. Nochmalige Verstärkung.
4. Ausblendung.

Bemerkenswert ist, daß in allen diesen Schaltungen die Ausblendung ganz *zuletzt* durchgeführt wird. Der Grund dafür ist vermutlich darin zu finden, daß die verwendeten Ausblendschaltungen nur mit Impulsen *einer* Polarität arbeiten können. Da das Nutzsignal aus der Lesewicklung wegen der Kompensationsfädelweise positiv oder negativ sein kann, ist dann eine Gleichrichtung vor der Ausblendung notwendig. Da aber die üblichen Gleichrichterelemente in ihrem wirksamen Arbeitsbereich einen Spannungsschwellenwert (> 0,5 V bei Dioden, und etwa 0,2 V bei Transistoren) haben, der noch wesentlich größer ist, als das von der Lesewicklung gelieferte Nutzsignal (meistens < 100 mV), ist auch noch eine Spannungsverstärkung vor der Gleichrichtung notwendig.

Diese Reihenfolge (Verstärkung-Gleichrichtung-Ausblendung) impliziert, daß die gesamte Leseverstärkerschaltung, wenn sie ihren Zweck erfüllen soll, verhältnismäßig großen Aufwand treiben muß und zwar aus folgenden Gründen. Das Verstärken *vor* dem Ausblenden hat zur Folge, daß der Verstärker dauernd dem Eingangssignal ausgesetzt bleibt. Da aber die Störsignale am Verstärkereingang oft vielfach größer sein können als das eigentliche Nutzsignal (besonders beim Beginn des Lesens, des Einspeicherns oder des Nachschreibstörens (Post-Write-Disturb, PWD)), muß der Verstärker für diesen Fall so dimensioniert werden, daß er auch beim größtmöglichen Störsignal nicht zu stark übersteuert wird, damit die Gefahr einer längeren Blockierung des Verstärkers ausgeschlossen bleibt. Sonst würde die Betriebszykluszeit des Kernspeichers wegen der dann benötigten Erholzeit des Verstärkers erheblich verlängert werden. Für das Nutzsignal selbst ist der Eingangsverstärker deshalb *unter*dimensioniert, und dies hat zur Folge, daß nach dem Gleichrichten meistens noch eine weitere Verstärkerstufe benötigt wird, um das sichere Tasten des Hilfsregister-Flipflops zu gewährleisten.

Es liegt deshalb nahe zu versuchen, den Verstärker normalerweise zu sperren, um ihn dadurch vor den großen Störsignalen zu schützen, ihn dagegen beim Lesen nur kurz während einer Zeit, in der der Störabstand günstig ist, in den Arbeitszustand zu setzen. Dies bedeutet mit anderen Worten, daß angestrebt werden sollte, ein kleines Nutzsignal von unbestimmter Polarität noch vor dem Verstärken der Ausblendung zu unterwerfen.

Eine Schaltung, die diese Aufgabe löst, d. h. welche das noch unverstärkte und noch nicht gleichgerichtete Lesesignal der Ausblendung unterwirft, und den ausgeblendeten Rest anschließend soweit verstärkt, daß das Hilfsregister-Flipflop mit Sicherheit getastet werden kann, zeigt Bild 4. Sie enthält nur zwei Transistoren und sechs Dioden. Ihre Wirkungsweise kann an Hand von Bild 5 verstanden werden.

Der Grundgedanke der Schaltung läßt sich etwa so beschreiben: Die Lesesignale unbestimmter Polarität werden einem Gegentakt-Transistor-Verstärker zugeführt, welcher durch einen Ausblendimpuls zwischen zwei Zuständen, dem Sperr- und dem Arbeitszustand hin und her gesteuert werden kann. Eine Spannungsbegrenzerschaltung verhindert den großen Spannungssprung an den Kollektoren, der sonst durch das Hin- und Herschalten entstehen würde. Im einzelnen arbeitet die Schaltung folgendermaßen: Die Lesewicklung (S) ist durch einen Impulsübertrager (Ü) an die Basisanschlüsse eines pnp-Transistorpaars (T_1T_2) angeschlossen. Die Mittelanzapfung (M) in der sekundären Wicklung des Ü ist durch die Dioden D_1 bzw. D_2 an den Ausblendimpulseingang (σ) bzw. die Spannung U_1, und durch den Widerstand R_1 und das Potentiometer P_1 an die Spannung U_2 (wobei $U_2 < U_1$) angeschlossen. Der Ausblendimpulseingang σ hat einen Ruhespannungspegel ($U_1 + U_\sigma$), wobei U_σ etwa 5 V ist, so daß

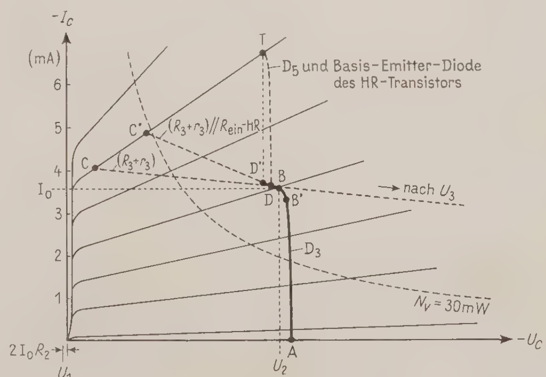


Bild 5. Schematische Darstellung der Arbeitspunkte des Leseverstärkers.

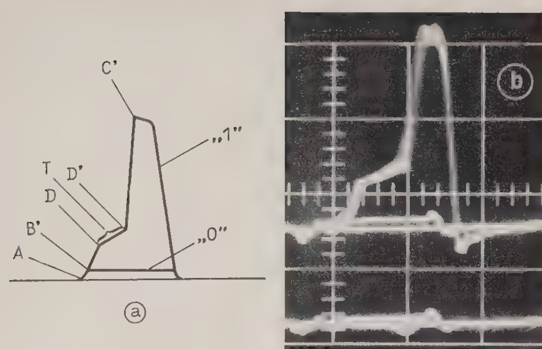


Bild 6. Spannungsimpulse am Kollektor des Leseverstärkers. a) schematisch, b) übereinandergeschriebene Leseimpulse aus allen 2048 Kernen einer Doppelmatrix. Quadratmaßstab: senkrecht 5 V, waagerecht 1 μs.

im unbetriebenen Zustand eine Ruhespannung ($U_1 + U_\sigma - U_{D1}$), welche größer als U_1 ist, am Punkt M durch die leitende Diode D_1 gehalten wird. Damit sind T_1 und T_2, deren Emitter durch einen niedrigen Widerstand R_2 mit U_1 verbunden sind, sowie D_2 gesperrt. Die Kollektoren von T_1 und T_2, die durch R_3, R_4 und das Potentiometer P_2 an die Spannung U_3 (wobei $U_3 \ll U_2$) angeschlossen sind, werden durch die Dioden D_3 bzw. D_4 auf einer Spannung ($U_2 - U_{D3/4}$) gehalten, und durch R_3 und D_3 bzw. R_4 und D_4 fließt ein Strom $I_d = (U_2 - U_3 - U_{D3}) / (R_3 + r_3)$ bzw. $(U_2 - U_3 - U_{D4})/(R_4 + r_4)$. In diesem Zustand, der durch Punkt A in Bild 5 gekennzeichnet ist, dürfen die Störsignale an der Lesewicklung den Wert $U_\sigma/ü$ erreichen (wobei $ü$ das Windungsverhältnis w_1/w_2 des Übertragers ist), ohne dabei den gesperrten Zustand der Transistoren T_1 und T_2 aufheben zu können. Beim Lesen wird der Ausblendimpulseingang zum Zeitpunkt eines günstigen Stör-Abstandes (beim normalen Betrieb etwa 0,6 μs nach dem Beginn der X- und Y-Ansteuerimpulse) für eine kurze Dauer (etwa 0,8 μs) bis zu einer negativeren Spannung als U_1 gezogen, so daß D_1 sperrt. Das Potential des Punktes M sinkt auf einen neuen Wert $U_0 = (U_1 - U_{D2})$ ab. Dieser Wert, der durch P_1 einstellbar ist (da U_{D2} von $I_{D2} = (U_1 - U_2) / (P_1 + R_1)$ abhängig ist) und bei Abwesenheit eines Signals an S auch die Basisspannung an T_1 und T_2 ist, wird so gewählt, daß T_1 und T_2 jeder so viel Strom führen, daß der bisher durch D_3 bzw. D_4 fließende Strom I_d dadurch aufgehoben wird. Dies stellt den „Bereitschaftszustand" der Transistoren als Verstärkerelemente dar (Punkt B in Bild 5).

Tritt jetzt ein kleines Nutzsignal an S auf, dann wird einer von den Transistoren über diesen Punkt hinaus weiter in den aktiven Bereich gesteuert. An seinem Kollektor entsteht ein Spannungsanstieg, welcher durch D_5 bzw. D_6 zum Tasten des Hilfsregister-Flipflops weitergeleitet wird. Der Kollektor würde sich nach Punkt C in Bild 5 bewegen, wenn er nicht vom HR belastet würde. Die leitende Basis-Emitter-Strecke des zu tastenden Transistors in HR stellt aber vorerst eine niederohmige Belastung dar, so daß der Kollektor zuerst zum Punkt T kommt. Nach dem Umkippen des Flipflops wird diese Strecke hochohmig. Die Arbeitskennlinie wird von $(R_3 + r_4)$ bzw. $(R_4 + r_4)$ und dem parallelgeschalteten Eingangswiderstand des getasteten Flipflops bestimmt, wodurch der Kollektor nunmehr zum Punkt C' kommt. Bild 6a zeigt den Kollektorspannungsimpuls im wirklichen Betrieb. Das Weiterlaufen der Kollektorspannung vom Punkt D' bis zum Punkt C' nach Beendigung des HR-Tastens kann gewissermaßen als die Reserve in der Betriebssicherheit der Schaltung betrachtet werden. Das wirkliche Aussehen der Impulse ist aus dem Oszillogramm (Bild 6b) zu entnehmen, welches die Ausgangsspannungen des Leseverstärkers vor den beiden Dioden D_5 und D_6 darstellt. Hierbei sind sämtliche Kerne der betreffenden Doppelmatrix hintereinander abgefragt und die Resultate übereinander geschrieben. Das gespeicherte Muster war so gewählt, daß alle Einser zu Impulsen einerlei Polarität führten.

Die Dioden D_3 und D_4 dienen einem doppelten Zweck. Einmal sollen sie die Transistoren T_1 und T_2 während der Sperrzeit vor Überspannung schützen. Außerdem geben sie dem Verstärker einen niederohmigen Ausgang, trotz der im Interesse einer hinreichenden Spannungsverstärkung verhältnismäßig hohen Widerstände R_3 und R_4, so daß die Abfallzeit des Ausgangsimpulses kurz sein kann.

Die Diode D_2 erzeugt, getrennt für jeden einzelnen Verstärker, die Schwellenspannung für den Bereitschaftszustand, und die Einstellung durch P_1 ermöglicht eine gewisse Berücksichtigung der Exemplarstreuung in den Transistoren. Hierdurch werden die Anforderungen an die Genauigkeit der beiden Potentiale des Ausblendimpulses sehr gering. Notwendig ist nur: der Punkt σ muß im Ruhezustand genügend positiv sein, damit T_1 und T_2 sicher sperren, und während des Ausblendens genügend negativ, damit D_1 sicher sperrt. Der Ausblendimpuls kann deshalb für sämtliche Leseverstärker gemeinsam erzeugt und parallel an sie angeschlossen werden.

Die Diode D_2 erfüllt außerdem die äußerst wichtige Funktion der Temperaturstabilisierung, ohne die eine Ausblendschaltung mit Transistoren, in welcher der Verstärkungsbeginn (Punkt B) sehr genau eingehalten werden muß, völlig unbrauchbar wäre. Diese Funktion erfüllt D_2 in einfacher Weise.

Wenn die Schaltung in den Bereitschaftszustand gesetzt wird, (Punkt B in Bild 5, wobei D_3 und D_4 gerade sperren), führen T_1 und T_2 je einen Anfangsstrom $I_0 = (U_2 - U_3)/R$, wobei $R \simeq R_3 + r_3 \cong R_4 + r_4$. Damit wird die gemeinsame Emitterspannung $U_e = U_1 - 2 I_e R_2 = U_1 - 2 I_0 (1 + 1/\beta) R_2$, wobei β der Stromverstärkungsfaktor des Transistors in der Emitterschaltung ist. Da $\beta \gg 1$ und zudem im normalen Arbeitsbereich ziemlich temperaturunabhängig ist, ändert sich U_e hier bei Temperaturänderungen fast nicht. Die Basis-Emitter-Spannung, die diesen Bereitschaftszustand einstellt, ist: $U_{be} = U_b - U_e = U_1 - U_{D2} - U_e = \text{Konstante} - U_{D2}$.

Die Temperaturabhängigkeit der Durchlaßspannung U_D einer Halbleiterdiode bei konstantem Durchlaßstrom und die der Basis-Emitterspannung U_{be} eines pnp-Transistors aus dem gleichen Halbleitermaterial bei konstantem Kollektorstrom und konstanter Kollektorspannung hat gleichen Betrag aber verschiedenes Vorzeichen, da U_{be} bei pnp-Transistoren eine negative Größe ist. Diese ist nach *Lin* und *Barco* [12] aus der Formel

$$-\left(\frac{\mathrm{d}\,U_D}{\mathrm{d}\,T}\right)_{I_D} = \left(\frac{\mathrm{d}\,U_{be}}{\mathrm{d}\,T}\right)_{I_c,\,U_{ce}} = \frac{E_g/q - U_j}{T} + \frac{5\,k}{2\,q}$$

berechenbar, wobei

E_g Breite des verbotenen Bands = 0,72 eV für Germanium,
q Elementarladung = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ As,
U_j Spannung an der Übergangsschicht (V),
T absolute Temperatur (°K), und
k Boltzmannsche Konstante = $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Joule/°K
ist.

Bei Zimmertemperatur (T = 25°C = 298°K) und mit 0,1 V als U_j angenommen, ergibt die Formel 2,296 mV/°K, während im Institut ausgeführte Messungen für den Bereich von 24°C bis zum 45°C den Mittelwert 2,3 mV/°C lieferten [13]. Durch richtige Auswahl der Werte für R_1 und R_2 kann man deshalb eine gute Stabilisierung für einen beträchtlichen Temperaturbereich erzielen[3]). Für D_2 hat sich hier eine Golddraht-Diode (z. B. Telefunken OA180)

[3]) Die Maßnahme kompensiert nur den Effekt der Temperaturänderung der U_{be} bei konstantem I_c, aber nicht des Basis-„Sättigungs"-Stroms (I_{bo} bei $I_e = 0$). Der Effekt des letzteren macht sich stark bemerkbar erst bei Temperaturen über 50°C.

mit niedrigem Zuleitungswiderstand als sehr geeignet erwiesen, da bei ihr die Temperaturabhängigkeit überwiegend von der Spannung an der Übergangsschicht allein bestimmt wird. Die Schaltung nach Bild 4 mit der dort angegebenen Dimensionierung hat beispielsweise in mehrfachen Temperaturprüfungen im Bereich von 20°C bis über 50°C einwandfrei gearbeitet.

Im leitenden Zustand stellt D_2 eine nur sehr niederohmige Impedanz dar, so daß ihre Anwesenheit im Eingangskreis keine die Verstärkung wesentlich beeinträchtigende Gegenkopplung verursacht. Der für beide Emitterzuleitungen gemeinsame Widerstand R_2 bewirkt ebenfalls keine wesentliche Gegenkopplung, da der Punkt B ziemlich in der Mitte des linearen Kennlinienbereichs des Transistors liegt und während der symmetrischen gegenphasigen Ansteuerung am Eingang der Strom durch den einen Transistor in fast dem gleichen Maße zunimmt wie der durch den anderen abnimmt, so daß der Gesamtstrom durch R_2 sich nur wenig ändert.

Außer der Wirtschaftlichkeit hat die beschriebene Leseverstärkerschaltung noch folgende Vorteile:

1. Im Gegensatz zu mehrstufigen Transistorverstärkern, bei denen die Stufen meistens mittels Kondensatoren gekoppelt werden, um eine akkumulative Temperaturdrift zu vermeiden, wird hier kein Kondensator verwendet. Die Schaltung hat daher die typischen Eigenschaften eines Gleichstromverstärkers, was sich insbesondere darin auswirkt, daß die verstärkten Impulse vom zeitlichen Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Aufrufen unabhängig sind. Ein anderer günstiger Zeiteffekt besteht darin, daß am Ende des Ausblend-Impulses der signalverstärkende Transistor durch eine nahezu eingeprägte positive Basis-Emitter-Spannung auch dann rasch wieder in den gesperrten Zustand gesteuert wird, wenn der Transistor vorher durch ein besonders kräftiges Signal stark in die Sättigung getrieben worden war. Messungen haben gezeigt, daß die mit Telefunken Transistoren Typ OC 613 (α-Grenzfrequenz 7 bis 10 MHz) bestückte Schaltung noch mit einer Zykluszeit von 1,5 μs zufriedenstellend arbeitet.

Die untere Grenze für die Zykluszeit des gesamten Kernspeichers wird freilich durch die thermische Belastbarkeit der aus wirtschaftlichen Gründen so knapp als möglich bemessenen Transistortreiber bestimmt. In einer früheren Versuchsschaltung mit den gleichen Leseverstärkern aber Röhrentreibern wurde eine Zykluszeit von 3,8 μs erreicht.

2. Das Vorhandensein einer mit genügender Genauigkeit erzeugten und gegen Temperaturänderungen stabilisierten Schwellenspannung ermöglicht es, den Störabstand während der Ausblendzeit durch Beschneiden („clipping“) des Störsignals zu verbessern. Hierzu braucht nur der Bereitschaftszustand etwas tiefer (etwa auf den Punkt B′ in Bild 5) eingestellt zu werden, so daß die Ströme der Dioden D_3 und D_4 noch nicht ganz aufgehoben werden. Hierdurch wird der Störabstand schon am Eingang verbessert, was bei linearen Eingangsverstärkern nicht der Fall ist. Ein niedriger Störabstand im verstärkten Signal bedeutet eigentlich eine noch nicht optimale Ausnützung des Verstärkers. Ein schon vor dem Verstärken verbesserter Störabstand ergibt deshalb bei gleicher darauffolgender Verstärkung auch eine vergrößerte Betriebssicherheit.

3. Die Schaltung stellt milde Ansprüche an den Ausblendimpuls-Generator und an die in ihr verwendeten Transistoren. Das erstere, weil die Beschneidung des Störsignals die Genauigkeit des Beginns des Ausblendimpulses weniger kritisch macht und weil die kurze Erholzeit (vgl. 1.) gestattet, die Impulsdauer verhältnismäßig lang zu machen. Das letztere weil wegen der langen Impulsdauer die Transistoren keine allzu hohe Grenzfrequenz zu besitzen brauchen. Außerdem wird damit der Effekt der bekannten Laufzeiterscheinungen [5], [9] in den in Reihe zusammengeschalteten Speichermatrizen weniger kritisch.

4. Dadurch, daß der Leseverstärker außerhalb der Ausblendzeit vor den Störsignalen geschützt ist, werden Störsignale (wenn sie nur genügend schnell abklingen) mit sehr großen Amplituden zulässig. Damit werden manche Sondermaßnahmen zur Vermeidung von größeren Störsignalen, wie etwa durch zeitlich verschiedenen Beginn der X- und Y-Lesestromimpulse [8], [14], welche die Zykluszeit verlängern und die Treiber stärker belasten, unnötig. Dies kann in manchen Fällen zu einer kürzeren Zykluszeit oder einer verminderten Belastung der Treiber beitragen.

Im Laufe der Inbetriebsetzung und der Durchprüfung des Kernspeichers wurden einige Verfahren und Programme entwickelt, die die Betriebssicherheit gründlich und zuverlässig prüfen können[4]). Es wurde dabei festgestellt, daß dank der Leseverstärkerschaltung die Gesamtbetriebssicherheit des Kernspeichers so gut ist, daß auf eine Temperaturkompensation der X-, Y- und Z-Impulsstromamplituden und auf den Nachschreib-Störstromimpuls (Post-Write-Disturb) verzichtet werden kann, obwohl beides ursprünglich vorgesehen war. Es wurden Prüfungen durchgeführt, bei denen einige Speichermatrizen durch Anblasen mit heißer Luft auf erhöhte Temperaturen gebracht wurden, und der Kernspeicher erst bei 50°C oder darüber Fehler zeigte. Der Störabstand im Lesesignal ist vom gespeicherten Inhalt abhängig. Der Prüfung wurde der ungünstigst mögliche Fall zugrunde gelegt. Da der Hauptteil der PERM mit hinreichender Luftkühlung versehen ist und die Umgebungstemperatur für den Kernspeicher im Betrieb nie höher als 35°C sein wird, kann der Sicherheitsabstand in dieser Hinsicht als genügend betrachtet werden.

Über die Frage, inwieweit der PWD-Impuls notwendig ist, wird an anderer Stelle[4] diskutiert. Es bringt einige Vorteile mit sich, ihn wegzulassen: 1. Die praktische Grenze für die minimale Zykluszeit kann dann verkürzt werden. 2. Die Z-Treiber werden im Mittel weniger belastet. 3. Die Störsignale an der Lesewicklung, die zu der PWD-Zeit entstehen würden, unterbleiben. 4. Die Kerne in den Speichermatrizen werden im Mittel seltener halberregt, was bei Speicherkernen mit weniger rechteckigen Hysteresekurven die Sicherheit der Erhaltung der Information „Eins“ erhöht.

5. Verwendung der Sperrschwingerschaltung

Im Kernspeicher der PERM findet die Sperrschwingerschaltung weitgehende Verwendung, und zwar für sämtliche Treiberstufen der Schaltmatrizen, für die Z-Treiber der „Inhibit“-Wicklungen und für die Steuerimpulsgenera-

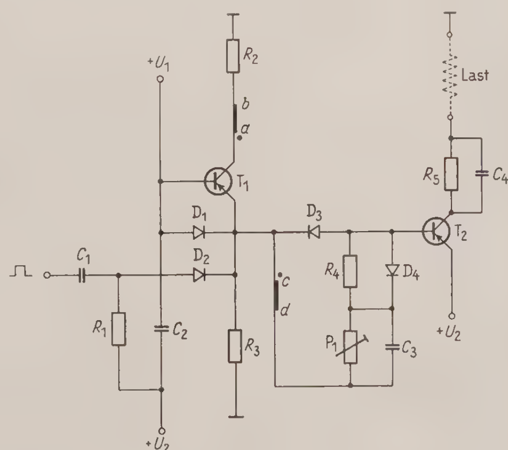


Bild 7. Grundschaltung des Sperrschwingers.

[4]) Ein Bericht über diese Prüfverfahren und Programme wird demnächst in dieser Zeitschrift erscheinen.

toren. Maßgebend hierfür war vor allem, daß sich in einer solchen Schaltung im Vergleich zu anderen Schaltungen ein größerer Kollektorstrom bei gleicher zulässiger Verlustleistung aus dem Transistor entnehmen läßt. Bei den Treibern der Schaltmatrizen außerdem die Speicherwirkung, welche es gestattet, das AR frühzeitig wieder freizugeben. Hierauf wird weiter unten noch näher eingegangen.

Bild 7 zeigt die Grundschaltung des verwendeten Sperrschwingers. Sie unterscheidet sich von der bekannten [15] nur in einigen Einzelheiten (R_2, R_4, D_3 und D_4). Der Widerstand R_2 dient der Einschwingsicherheit, die beiden Dioden D_3 und D_4 zusammen mit dem Widerstand R_4 dem Schutz des Transistors T_2 vor Überspannungen beim Ausschalten. Die Arbeitsweise der Schaltung sei kurz erläutert:

Die Basis des pnp-Transistors T_1 ist direkt an Spannung $+U_1$ angeschlossen. Im Ruheszutand ist D_1 leitend. Durch D_1 und R_3 fließt ein Ruhestrom I_{D1} und der Spannungsabfall U_{D1} beträgt etwa 0,3 V. Damit ist T_1 knapp aber sicher gesperrt. Die Spannung U_2 ist ebenfalls positiv, und $U_1 - U_2 \simeq 0{,}8$ V. Die Basisspannung für T_2 ist $U_1 - U_{D1} - U_2 \simeq +0{,}5$ V, so daß auch T_2 gesperrt ist. Bei Anlegen eines Anstoßimpulses ($\geqq +4$ V) durch C_1 und D_2 wird der Strom I_{D1} aufgehoben und der Emitter des Transistors T_1 wird positiver als die an U_1 liegende Basis. T_1 wird leitend und die Rückkopplung durch den Übertrager (ab : cd $= \ddot{u} : 1$) setzt ein, welche dann T_1 stark in die Sättigung treibt ($U_{ce} \simeq 0$). Gleichzeitig wird der Punkt d negativ und auch der Transistor T_2 wird in stark leitenden Zustand gesteuert. An seinem Kollektor kann man einen großen Impulsstrom (bis zu etwa 400 mA bei AF 105 und ASZ 10) entnehmen. Dieser Zustand dauert so lange bis I_c in T_1 einen Maximalwert erreicht, worauf die Rückkopplung beginnt, schnell in der umgekehrten Richtung zu wirken. Die Polarität an c und d schlägt um, und der durch den niederohmigen Weg D_1 — cd — P_1 C_3 — R_4 in die Basis des Transistors T_2 eingeprägte Rückwärtsstrom bringt diesen Transistor schnell aus der Sättigung und schaltet ihn ab. Damit kommt die Schaltung in den Ruhezustand zurück. Mit dem Potentiometer P_1 läßt sich die Impulsdauer ändern. Die Kondensatoren C_3 und C_4 dienen dazu, die Anstiegsflanken des an die Last abgegebenen Stromimpulses steiler zu machen.

Die Diode D_3 begrenzt zusammen mit dem Widerstand R_4 die während des Abschaltens des Transistors T_2 an seiner Basis entstehende Spannung, während die Diode D_4 den Widerstand R_4 während des Einschaltens unwirksam macht. Die stabilisierende Wirkung des Widerstandes R_2 erkennt man, wenn man die Impulsdauer berechnet. In dem Zeitintervall zwischen dem Anstoß und dem Wiedereinsetzen der Sperrwirkung im Transistor T_1 verhält sich die Schaltung linear und kann durch das Verhalten der linearen Ersatzschaltung nach Bild 8 beschrieben werden. In ihr ist der Kopplungsübertrager durch eine Parallelschaltung aus einem idealen Übertrager $\ddot{u} : 1$ und einer parallel dazu liegenden Induktivität nachgebildet. Beim Einschalten sind die drei in ihr vorkommenden Ströme I_e, I_L und I_c gegeben durch

$$I_e = \ddot{u} I_0 \, e^{-t/T},$$
$$I_L = I_\infty \, (1 - e^{-t/T}),$$
$$I_c = \frac{I_e}{\ddot{u}} + I_L = I_0 + (I_\infty - I_0)\,(1 - e^{-t/T}).$$

Hierin bedeutet:

$$T = \frac{L\,(R_2 + \ddot{u}^2 R_e)}{\ddot{u}^2 R_2 R_e}, \quad I_0 = U_1/(\ddot{u}^2 R_e + R_2), \quad I_\infty = U_1/R_2.$$

Der Strom I_c steigt also exponentiell vom Wert I_0 auf den Wert I_∞ mit der Zeitkonstante T an, während der Strom I_c mit der gleichen Zeitkonstante vom Wert $\ddot{u}\,I_0$ auf den Wert 0 exponentiell fällt.

Die Sperrwirkung setzt wieder ein, sobald die Ströme I_e und I_c das Verhältnis $1 : \alpha$ erreicht haben (α = Gleichstromverstärkungsfaktor des Transistors T_1).

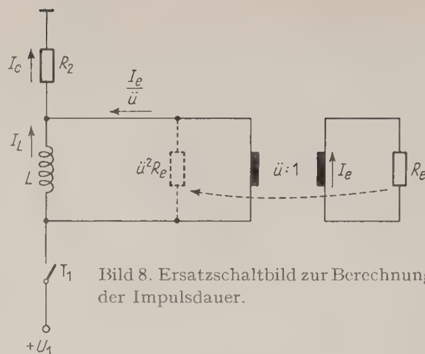


Bild 8. Ersatzschaltbild zur Berechnung der Impulsdauer.

Die Impulsdauer T_i ist ungefähr durch das Zeitintervall zwischen Anstoß und diesem Zeitpunkt gegeben. Eine einfache Rechnung liefert:

$$T_i = L\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{\ddot{u}^2 R_e}\right) \ln \frac{\dfrac{R_e}{R^2} + \dfrac{\alpha}{\ddot{u}}}{\dfrac{R_e}{R_2} + \dfrac{1}{\ddot{u}^2}}.$$

Die Impulsdauer T_0 im Falle $R_2 = 0$ ist nach dieser Formel und nach [15], [16]:

$$T_0 = (L/\ddot{u}\,R_e)\,(\alpha - 1/\ddot{u}).$$

Die Anwesenheit von R_2 in der Schaltung hat deshalb eine stabilisierende Wirkung, erstens weil T_i dadurch weniger abhängig von den Änderungen des Eingangswiderstandes des Transistors T_2 wird und zweitens weil R_2 den Kollektorstrom I_c des Transistors T_1 begrenzt (besonders bei kleinem L) und dadurch verhindert, daß T_1 zu stark in die Sättigung oder der Übertragerkern in den Bereich stark verminderter Permeabilität gesteuert wird. Andernfalls würde die Anschwingsicherheit beeinträchtigt werden.

Die Verwendung der Sperrschwingerschaltung bietet somit zwei wesentliche Vorteile:

1. Der Sperrschwinger ist vor allem anderen Schaltungsarten in seiner (Impuls-)Stromlieferfähigkeit überlegen. Das hat folgenden Grund: Da die Ein- und Ausschaltzeiten der beiden Transistoren in dieser Schaltung viel kürzer sind als in anderen, ist der Energieverlust während des Umschaltens erheblich geringer. Während der Impulsdauer sorgt andererseits die starke Sättigung der Transistoren dafür, daß sie trotz des großen Stromes nur eine niedrige Kollektor/Emitterspannung und damit auch während dieser Zeit einen geringeren Energieverlust erleiden. Beim Transistortyp AF 105 (30 mW bei 45°C) ist $U_{ce} < 1$ V bei $I_c = 350$ mA. Bei einer Impulsdauer von 2 μs z. B. kann er deshalb schon mit einer Impulsfolgezeit von etwa 24 μs betrieben werden, ohne sich unzulässig zu erwärmen. Diese Leistungsfähigkeit erlaubt es, sämtliche Treiberstufen und Impulsgeneratoren mit nur je 2 oder 3 Transistoren zu realisieren.

2. Wie das monostabile Flipflop ist der Sperrschwinger auch ein vorübergehend Information speicherndes Element. Seine Verwendung in den Treiberstufen für die Schaltmatrizen ermöglicht es, daß die Adressen-Information nicht mehr bis zum Ende des Einspeicher-Stromimpulses im Adressenregister festgehalten werden muß. Damit kann dieses Register schon beim Beginn des Kernspeicher-Aufrufs wieder gelöscht werden, so daß es in der Lage ist, etwa beim Auslesen eines Befehls den neuen Adresseninhalt sofort aufzunehmen. Dies wäre bei Treibern unter statischer Steuerung ohne zusätzliches Pufferregister nicht möglich. Da es sich im normalen Programmablauf (in einer Ein-Adreß-Maschine) durchschnittlich fast bei jedem zweiten Speicheraufruf um das Auslesen eines Befehls handelt, trägt das sofortige Löschen des Adressenregisters dazu bei, die effektive minimale Zykluszeit beträchtlich zu verkürzen.

Die obenerwähnte, von den Verlusten bestimmte minimale Impulsfolgezeit von 24 μs für die Treiberstufen erfüllt an sich die Anforderungen des normalen Betriebs der PERM, da in der minimalen Befehlsfolgezeit von 70 μs höchstens 3 Aufrufe des Kernspeichers (Auslesen eines Befehls und bei dessen Ausführung einmal Zahlen-Auslesen und einmal Zahlen-Einspeichern) vorkommen können. Um jedoch das schnelle Auslesen von Befehlen mit „Adresse von Adresse" (Substitution der Adresse in einem Befehl durch die unter dieser Adresse gespeicherte Adresseninformation) zu ermöglichen, ist eine minimale Zykluszeit von 8 μs für 4 Zyklen in rascher Folge erlaubt. Eine Schutzschaltung im Steuerimpulsgeneratorteil (Bild 1) sorgt dafür, daß die durchschnittliche Belastung der Treiber die zulässige Grenze nicht überschreitet.

6. Schlußbemerkung

Die Firma IBM Deutschland hat uns beim Bau des Magnetkernspeichers dadurch großzügig unterstützt, daß sie in dankenswerter Weise die erforderlichen geprüften Speicherkerne zur Verfügung gestellt hat. Unser Dank gilt auch Herrn Ing. *F. Ullrich* für seine wertvolle und tatkräftige Mitarbeit und Herrn Dipl.-Ing. *W. Anacker* für fruchtbare Diskussionen und Anregungen.

Literatur

[1] *H. Piloty* et al, Die programmgesteuerte elektronische Rechenanlage München (PERM). NTZ 8 (1955), Heft 11 und 12.

[2] *H. Schecher,* Programmierung für eine Maschine mit erweitertem Adressenrechenwerk. International Kolloquium in Probl. der Rechentechnik, Dresden 1955. S. 69—81. Siehe auch z. B.: Handbook of Automation, Computation, and Control, Wiley 1959. Band 2, S. 2-191.

[3] *J. W. Forrester,* Digital information storage in three dimensions using magnetic cores. J. Appl. Phys., 22 (1951), 44—48.

[4] *W. E. Bradley,* Transistorized ferrite-core buffer memory. Proc. Nat. Electronics Conf., Vol. 12 (1956), S. 308—311.

[5] *J. L. Mitchell* und *K. H. Olsen,* TX-O, a transistor computer with a 256 × 256 memory. Proc. EJCC (Dez. 1956), S. 93 bis 101.

[6] *G. E. Valenty,* A medium-speed magnetic-core memory. Proc. WJCC (Febr. 1957), S. 57—67.

[7] *R. L. Best.,* Memory units in the Lincoln TX-2. Proc. WJCC (Febr. 1957), S. 160—167.

[8] *E. L. Younker,* A transistor-driven magnetic-core memory. IRE Trans. EC-6 (März 1957), S. 14—20.

[9] *E. Foss* und *R. S. Patridge,* A 32,000-word magnetic-core memory. IBM J. Res. and Dev., Vol. 1 (April 1957), S. 102—109.

[10] *W. N. Papian,* High-speed computer stores 2.5 megabits. Electronics (1. Okt. 1957), S. 162—167.

[11] *A. H. Ashley,* A five-microsecond memory for UDOFT computer. 1957 WESCON Conv. Rec. Pt. 4, S. 262—266.

[12] *H. C. Lin* und *A. A. Barco,* Temperature effects in circuits using junction transistors. Transistors I, März 1956, RCA Laboratories, S. 396—402.

[13] *U. Hölken,* Eine Schaltung zur Kompensation des Spannungsdriftes der Eingangsstufe eines direkt gekoppelten Transistor-Gleichspannungsverstärkers. NTZ (1961), Heft 1, S. 32—36.

[14] *M. A. Alexander, M. Rosenberg* und *R. Stuart-Williams,* Ferrite-core memory is fast and reliable. Electronics, 29 (Febr. 1956), S. 158—161.

[15] *D. J. Hamilton,* A transistor pulse generator for digital systems. IRE Transactions EC-7-3 (Sept. 1958), S. 244—249.

[16] *J. G. Linvill* und *R. H. Mattson,* Junction transistor blocking oscillators. Proc. IRE, 43 (1955), S. 1632—1659.

Automatische variable Gleitkommarechnung, dargestellt am Beispiel der Matrizeninversion

Automatic variable floating-point arithmetic demonstrated by the problem of matrix inversion

Von D. KOBELT
Farbwerke Hoechst AG,
vorm. Meister, Lucius & Brüning
Frankfurt (M.)-Höchst

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 6, S. 253—259
Manuskripteingang: 23. 9. 1961

Wissenschaftlich-technische Berechnungen auf programmgesteuerten Rechenmaschinen werden im allgemeinen unter Benutzung der Gleitkommarechnung durchgeführt. Dabei braucht die verwendete Mantissenlänge keineswegs günstig für das behandelte Problem zu sein. Es kommt vor, daß die gewonnenen Ergebnisse nicht die gewünschte Genauigkeit haben. Bei Maschinen ohne feste Wortlänge lassen sich die Ergebnisse in vielen Fällen mittels einer automatischen variablen Gleitkommarechnung mit der geforderten Genauigkeit bestimmen, d. h., die Mantissenlängen werden automatisch durch das Programm gesteuert. Die Anwendung einer automatischen variablen Gleitkommarechnung auf die Matrizeninversion wird gezeigt.

Generally, scientific calculations on program controlled computers are performed in floating point arithmetic. The mantissa length used is not always suitable for the problem dealt with. Sometimes the results have not the accuracy required. Using computers without fixed word length one can obtain the results at the accuracy required by an automatic variable floating point arithmetic, i.e., the mantissa length are controlled automatically by the program. This technique is applied on the inversion of matrices.

1. Einleitung

Viele technische und wissenschaftliche Aufgaben lassen sich auf einer programmgesteuerten digitalen Rechenmaschine mittels einer Rechnung im festen Komma wegen allgemein bekannter prinzipieller Schwierigkeiten praktisch nicht

lösen. Man führt deshalb bei diesen Aufgaben die Rechnung im Gleitkomma durch. Viele Maschinen sind mit festverdrahteten Gleitkommasubroutinen ausgerüstet. Auch wenn dies nicht der Fall ist, so liegen doch meist Programmiersysteme vor, die Gleitkommasubroutinen enthalten. Jedenfalls wird in der Regel mit fester Mantissenlänge gearbeitet. Die Praxis zeigt, daß immer wieder Probleme auftreten, bei denen diese fest vorgegebene Mantissenlänge nicht ausreicht. Häufig sind zeitraubende mathematische Vorarbeiten erforderlich, um dennoch zum Ziel zu gelangen.

Bei programmgesteuerten Rechenmaschinen ohne feste Wortlänge ist es programmtechnisch einfach, Modifikationssubroutinen aufzustellen, die die Gleitkommasubroutinen für die Grundrechnungsarten für eine im Rahmen der Maschine mögliche, beliebig vorgebbare Mantissenlänge umformen. Auf diese Weise kann mit einer dem Problem angepaßten Mantissenlänge gerechnet werden.

Nun lehrt die Erfahrung, daß es häufig unnötigen Speicher- und Zeitaufwand bedeutet, wenn nur Zahlen gleicher Mantissenlänge durch die Grundrechnungsarten zu einem Resultat gleicher Mantissenlänge verknüpft werden können. Dies läßt sich mittels geeigneter Modifikationssubroutinen leicht umgehen. Bei jeder der Grundrechnungsarten müssen dann die drei Mantissenlängen der drei beteiligten Gleitkommazahlen vorgegeben werden. Da die Modifikationssubroutinen zumeist nur einige Male durchlaufen werden, ist der dadurch hervorgerufene zeitliche Aufwand vernachlässigbar.

Die Leistungsfähigkeit einer solchen Gleitkommarechnung kommt erst dann voll zur Geltung, wenn die Bestimmung der Mantissenlängen bzw. ihre Abänderung auf Grund von Zwischenergebnissen automatisch durch das Programm durchgeführt wird, um mit minimalen Mantissenlängen eine geforderte Genauigkeit zu erzielen. Die automatische variable Gleitkommarechnung ist auf Maschinen ohne feste Wortlänge beschränkt, denn ihre Anwendung auf einer Maschine mit fester Wortlänge würde die für eine solche Maschine charakteristischen kürzeren Operationszeiten zur Durchführung von Gleitkommaoperationen stark erhöhen. Damit würde der wichtigste Gesichtspunkt bei Maschinen, die ausschließlich oder doch vorwiegend wissenschaftlich-technische Berechnungen großen Umfangs durchführen, in seiner Bedeutung stark vermindert. Bei Rechenanlagen, die vorwiegend mit Problemen belegt sind, bei denen Rechenoperationen nicht den Hauptteil der Arbeit ausmachen (z. B. kaufmännische Abrechnungen, Dokumentation etc.) stehen andere Gesichtspunkte im Vordergrund. So ist es hier zum Beispiel wichtig, daß zu jedem Zeichen eines Satzes ein direkter Zugriff besteht, um bei gleichzeitig kurzen Operationszeiten die Informationsdichte der Sätze so hoch wie möglich zu gestalten, da die Zeiten der Ein- und Ausgabeoperationen die der maschineninternen Operationen bei weitem übertreffen. So findet man vor allem bei mit vorwiegend kaufmännischen Arbeiten beschäftigten Anlagen häufig Rechenmaschinen ohne feste Wortlänge. Da eine große Anzahl solcher Anlagen vorhanden ist, scheinen die Bemühungen um eine automatische variable Gleitkommarechnung gerechtfertigt.

Als Beispiel für die Verwendung einer automatischen variablen Gleitkommarechnung soll im folgenden die Inversion von Matrizen gezeigt werden. Dieses Beispiel ist für die Anwendung einer automatischen variablen Gleitkommarechnung bereits sehr kompliziert, aber die dadurch bedingten mühsamen Abschätzungen sind durch die Wichtigkeit der Matrizeninversion gerechtfertigt. Für die Durchführung der Inversion wird das Iterationsverfahren von *G. Schulz* [1] verwendet.

2. Für die Inversion verwendetes Verfahren

Die Rechenvorschrift des Iterationsverfahrens von *G. Schulz* lautet:

$$X_{n+1} = X_n + X_n (E - AX_n) \text{ mit } n = 0,1 \ldots \quad (1)$$

Dabei sind A die zu invertierende Matrix, E die Einheitsmatrix und X_n die n-te Näherungsinverse. Das Verfahren konvergiert wegen $E - AX_n = (E - AX_0)^{2^n}$ genau dann, wenn die Eigenwerte der Matrix $C_0 = E - AX_0$ alle dem Betrage nach kleiner als 1 sind. Dabei ist X_0 die Näherungsinverse, mit der das Verfahren begonnen wird. X_0 kann auf die verschiedensten Arten gewonnen werden (vgl. z. B. [2]). Im vorliegenden Fall geschieht dies mit Hilfe des Gaußschen Algorithmus. Die dafür erforderlichen Rechnungen werden mit der durch die Gleitkommadarstellung der Elemente a_{ik} von A vorgegebenen Mantissenlänge durchgeführt.

3. Die zu bestimmenden Größen

Im folgenden soll das Ziel präzisiert werden. Ist $x_{ik,n}$ der n-te Näherungswert für x_{ik}, so sei unter der Anzahl $g_{ik,n}$ gültiger Mantissenstellen der Gleitkommadarstellung der Zahl $x_{ik,n}$ die größte ganze positive Zahl $g_{ik,n}$ verstanden, die die Ungleichung

$$\frac{|x_{ik} - x_{ik,n}|}{|x_{ik,n}|} \leq 0{,}5 \cdot 10^{-g_{ik,n}} \quad (2)$$

erfüllt. Mit der Anzahl g_n gültiger Mantissenstellen der n-ten Näherungsinversen X_n sei dann

$$g_n = \min_{i,k} (g_{ik,n})$$

gemeint, wobei die $x_{ik,n}$ die Elemente der Matrix X_n sind.

Führt man das Iterationsverfahren von *G. Schulz* mit jeweils gleicher Mantissenlänge für alle Rechnungen einmal mit einer Mantissenlänge m_1 und dann mit einer davon verschiedenen Mantissenlänge m_2 bei gleicher Näherungsinversen X_0 durch, so sind die entsprechenden g_n bis zu einem bestimmten n_0 gleich, wenn nur m_1 und m_2 hinreichend groß und hinreichend unterschiedlich gewählt wurden. War g_{n_0} gerade die geforderte Anzahl gültiger Mantissenstellen der Inversen, so wurde in dem einen Fall sicher mit einer überflüssig großen Mantissenlänge gerechnet. Entsprechendes gilt für die Verwendung von nur einer einzigen Mantissenlänge für alle zur Durchführung eines Iterationsschrittes erforderlichen Rechnungen.

Es ist daher das Ziel, alle für die Iteration benötigten Mantissenlängen so zu bestimmen, daß mit möglichst kleinen Mantissenlängen eine geforderte Anzahl g gültiger Mantissenstellen mit genausoviel Iterationsschritten wie bei Verwendung „unendlicher" Mantissenlängen erreicht wird.

Die Durchführung der Iteration erfordert ausschließlich Matrizenoperationen. Es ist daher zweckmäßig, die Festlegung der Mantissenlängen innerhalb der Matrizenoperationen allgemein zu versuchen, um so die Anzahl der zu bestimmenden Mantissenlängen so weit wie möglich zu vermindern. Dies soll im folgenden geschehen.

Die Durchführung der Matrizenmultiplikation $PQ = R$ erfordert die Benutzung der Multiplikations- und Additionssubroutine. Es wird vorausgesetzt, daß die Gleitkommadarstellungen der Elemente p_{ij} bzw. q_{jk} alle die gleiche Mantissenlänge $m(p)$ bzw. $m(q)$ haben. Weiter wird vorausgesetzt, daß die relativen Fehler $\varrho(p_{ij})$ der p_{ij} bzw. $\varrho(q_{jk})$ der q_{jk} dem Betrage nach je die gleiche Größenordnung haben. Dann ist es zweckmäßig, die dritte Mantissenlänge $m(s)$ der Multiplikationssubroutine für die Multiplikation $p_{ij}\, q_{jk} = s_{ijk}$ für alle s_{ijk} gleich zu wählen. Die Additionssubroutine wird für die Bildung von $r_{ik} = \Sigma_j\, s_{ijk}$ benötigt. Da man normalerweise keine Aussage über das Verhältnis der Größenordnung der Summanden s_{ijk} zueinander machen kann, ist es sinnvoll, die drei Mantissenlängen für die Additionssubroutine gleich zu wählen. Diese gemeinsame Mantissenlänge wird mit $m(r)$ bezeichnet und soll im folgenden bestimmt werden. Zu diesem Zweck müssen die Fehlerverhältnisse sowohl bei der Multiplikations- als auch bei der Additionssubroutine betrachtet werden.

Multiplikationssubroutine: Hat die letzte Mantissenstelle der Gleitkommadarstellung der p_{ij} einen maximalen Fehler von einer Einheit, so gilt für den relativen Fehler $|\varrho(p_{ij})| \leqq 10^{1-m(p)}$, entsprechend gilt bei den q_{jk} für den relativen Fehler $|\varrho(q_{jk})| \leqq 10^{1-m(q)}$. Der relative Fehler eines Produktes ist näherungsweise gleich der Summe der relativen Fehler der Faktoren. Unter Berücksichtigung des bei der Multiplikation auftretenden Abbruchfehlers[1]) gilt dann näherungsweise

$$|\varrho(s_{ijk})| \leqq 10\,(10^{-m(p)} + 10^{-m(q)} + 10^{-m(s)}).$$

Durch diese Ungleichung wird die Festsetzung

$$m(s) = \min(m(p), m(q))$$

nahegelegt. Dabei ist vorausgesetzt, daß $\varrho(p_{ij}), \varrho(q_{jk}) \neq 0$ gilt. Ist dagegen z. B. $\varrho(p_{ij}) = 0$ für alle i und j, so wählt man

$$m(s) = m(q).$$

Additionssubroutine: Wählt man $m(r) > m(s)$, so werden überflüssige Mantissenstellen mitgeführt, wählt man dagegen $m(r) < m(s)$, so werden gültige Mantissenstellen nicht mit verarbeitet, d. h. $m(s)$ wurde überflüssig groß gewählt. Deshalb setzt man

$$m(r) = m(s). \tag{3}$$

Kennt man also für eine Matrizenmultiplikation $PQ = R$ die Mantissenlängen $m(p)$ und $m(q)$ sowie die relativen Fehler der p_{ij} und q_{jk}, so sind mit den obigen Festsetzungen alle erforderlichen Mantissenlängen festgelegt.

Unter Verwendung dieses Ergebnisses lassen sich jetzt die zehn Mantissenlängen angeben, die für die Matrizeninversion nach (1) festgelegt werden müssen:

Mantissenlängen für die Bildung von $B_n = -AX_n$.
$m_1(a)$, $m_1(x_n)$.
Mantissenlängen für die Bildung von $C_n = E + B_n = E - AX_n$.
$m_2(e)$, $m_2(b_n)$, $m_2(c_n)$.
Mantissenlängen für die Bildung von $D_n = X_n C_n$
$X_n(E - AX_n)$.
$m_3(x_n)$, $m_3(c_n)$.
Mantissenlängen für die Bildung von $X_{n+1} = X_n + D_n = X_n + X_n(E - AX_n)$.
$m_4(x_n)$, $m_4(d_n)$, $m_4(x_{n+1})$.
Diese Mantissenlängen sollen in den folgenden Abschnitten bestimmt werden.

4. Bestimmung der Mantissenlängen

4.1 Mantissenlängen für die Berechnung von B_n und C_n

Es müssen fünf Mantissenlängen bestimmt werden. Die Mantissenlänge $m_1(a)$ ist vorgegeben. Überdies werden die Gleitkommadarstellungen der a_{ij} als exakte Darstellungen fehlerfreier Zahlen angesehen, d. h. $\varrho(a_{ij}) = 0$. Die Elemente $x_{ij,n}$ haben einen von Null verschiedenen relativen Fehler. (Über den relativen Fehler der $x_{ij,0}$ werden unten noch Betrachtungen angestellt). Mit den obigen Ergebnissen gilt dann für die Mantissenlänge $m_1(b_n)$ der Elemente der Matrix B_n

$$m_1(b_n) = m_1(x_n).$$

Damit ist für die Berechnung von B_n nur noch die Bestimmung von $m_1(x_n)$ erforderlich. Wählt man $m_1(x_n)$ und damit auch die übrigen Mantissenlängen für die Bestimmung von B_n mit Ausnahme von $m_1(a)$ zu klein, so divergiert das Verfahren, obwohl die Ausgangsnäherung X_0 so gut ist, daß sie die obige Konvergenzbedingung (vgl. Abschnitt 2) erfüllt. Also darf $m_1(x_n)$ eine gewisse Mindestlänge nicht unterschreiten, zu deren Herleitung ein Konvergenzkriterium für das Schulzsche Verfahren benötigt wird. Die oben angeführte notwendige und hinreichende Konvergenzbedingung ist praktisch kaum verwendbar. Deshalb soll ein nur hinreichendes, aber leicht zu handhabendes Konvergenzkriterium benutzt werden, nämlich:

Das Verfahren konvergiert dann, wenn die Norm

$$N(C_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^{p}\sum_{k=1}^{p} c^2_{ik,0}} < 1 \tag{4}$$

ist. Dabei sind die $c_{ik,0}$ die Elemente der Matrix $C_0 = E - AX_0$, und p ist der Grad (Zeilen- bzw. Spaltenzahl) der betrachteten Matrizen.

Der Einfachheit halber wird $N(C_0)$ durch N_0 abgekürzt. Die unter (4) benutzte Norm genügt den später noch benötigten Ungleichungen:

$$\begin{aligned} N(A + B) &\leqq N(A) + N(B), \\ N(AB) &\leqq N(A) \cdot N(B), \\ N(x'Ay) &\leqq N(x) \cdot N(y) \cdot N(A), \end{aligned} \tag{5}$$

wobei x und y Vektoren sind.

Für das Folgende wird vorausgesetzt, daß die Näherungsinverse X_0 so gut ist, daß bei der Verwendung hinreichend großer Mantissenlängen bei der Bestimmung von N_0 die Bedingung (4) erfüllt ist. Die kleinste dafür verwendbare Mantissenlänge für $m_1(x_0)$ soll mit $m_1^*(x_0)$ bezeichnet werden. Ihre Herleitung ist unsere nächste Aufgabe.

4.1.1 Bestimmung von $m_1^*(x_0)$

Dabei geht man aus von der Forderung

$$|\Delta N_0| < 1 - N_0, \tag{6}$$

wobei ΔN_0 der auf Grund der Fehlerfortpflanzung und der Abbruchfehler bei der Berechnung von N_0 auftretende Fehler von N_0 ist. Die $x_{ik,0}$ werden als exakte Gleitkommadarstellungen fehlerfreier Zahlen betrachtet. Da die Mantissenlänge dieser Gleitkommadarstellungen für die Bildung von B_0 möglicherweise verkürzt wird, sind die dadurch entstehenden Gleitkommadarstellungen mit einem relativen Fehler $|\varrho(x_{ij,0})| \leqq 10^{1-m_1^*(x_0)}$ behaftet.

Für die relativen Fehler der Produkte $a_{ij}x_{jk,0}$ gilt dann unter Berücksichtigung des Abbruchfehlers nach der Multiplikation näherungsweise

$$|\varrho(a_{ij}x_{jk,0})| \leqq 2 \cdot 10^{1-m_1^*(x_0)}.$$

Dann gilt für den Fehler $\Delta b_{ik,0}$ der $b_{ik,0}$ näherungsweise

$$\begin{aligned} |\Delta b_{ik,0}| &\leqq 2 \cdot 10^{1-m_1^*(x_0)} \cdot \sum_{j=1}^{p} |a_{ij}x_{jk,0}| \\ &+ p \max_{i,j,k}(|a_{ij}x_{jk,0}|) \cdot 10^{1-m_1^*(x_0)}, \end{aligned} \tag{7}$$

wobei der erste Summand die Fehlerfortpflanzung und der zweite Summand die Abbruchfehler berücksichtigt.

Mit (7) hat man eine Beziehung zwischen den Fehlern $\Delta b_{ik,0}$ der Elemente $b_{ik,0}$ der Matrix B_0 und der kleinsten verwendbaren Mantissenlänge $m_1^*(x_0)$. Um die Forderung (6) anwenden zu können, muß noch die Beziehung zwischen den $\Delta b_{ik,0}$ und den Fehlern $\Delta c_{ik,0}$ der Elemente $c_{ik,0}$ der Matrix $C_0 = E + B_0$ hergeleitet werden. Dies gelingt sofort, wenn man die Mantissenlängen für die Additionssubroutine zur Bildung von C_n (zweckmäßigerweise nicht nur für $n = 0$) wie folgt festlegt:

$m_2(b_n) = m_2(c_n) = m_1(x_n)$ und
$m_2(e) = 1$.

Damit gilt für den Fehler $\Delta c_{ik,0}$ näherungsweise

$$|\Delta c_{ik,0}| \leqq |\Delta b_{ik,0}| + \max(1; |b_{ii,0}|) \cdot 10^{1-m_1^*(x_0)}$$

oder

$$|\Delta c_{ik,0}| < |\Delta b_{ik,0}| + 2 \cdot 10^{1-m_1^*(x_0)}, \tag{8}$$

da $|b_{ii,0}| < 2$ wegen der Voraussetzung, daß die Bedingung (4) erfüllt ist, gilt.

[1]) Es wird angenommen, daß die Gleitkommasubroutinen ohne Runden arbeiten.

Die Forderung (6) läßt sich dann mittels

$$\Delta N_0 \approx \frac{1}{N_0} \sum_1^p{}_i \sum_1^p{}_k c_{ik,0} \Delta c_{ik,0} \tag{9}$$

anwenden. In (9) sind die Abbruchfehler, die bei einer Bestimmung von N_0 auftreten würden, nicht berücksichtigt, da N_0 für die Durchführung der Rechnung nach (1) nicht benötigt wird, und somit nur die Fehlerfortpflanzung der $\Delta c_{ik,0}$ für das Erfülltsein von (4) von Bedeutung ist.

Schätzt man die rechte Seite von (9) nach oben ab, dann gilt näherungsweise

$$|\Delta N_0| \leqq \frac{p^2}{N_0} \max_{i,k} (|c_{ik,0}|) \cdot \max_{i,k} (|\Delta c_{ik,0}|),$$

oder da $N_0 \geqq \max_{i,k} (| c_{ik,0} |)$ ist,

$$| \Delta N_0 | \leqq p^2 \max_{i,k} (| \Delta c_{ik,0} |).$$

Nun gelten (7) und (8) für alle i und k und damit auch für die Maxima der linken Seiten, also gilt für ΔN_0

$$| \Delta N_0 | \leqq 2 p^2 \left(\sum_1^p{}_j | a_{ij} x_{jk,0} | + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{2p} \max_{i,j,k} (| a_{ij} x_{jk,0} |) + 1 \right) \cdot 10^{1-m_1^* (x_0)}.$$

Damit schreibt sich die Forderung (6) jetzt

$$2p^2 \left(\sum_1^p{}_j | a_{ij} x_{jk,0} | + \frac{1}{2p} \max_{i,j,k} (| a_{ij} x_{jk,0} |) + 1 \right) \cdot 10^{1-m_1^* (x_0)} < 1 - N_0,$$

oder umgeformt

$$10^{m_1^* (x_0)} > \frac{20 p^2}{1-N_0} \left(\sum_1^p{}_j | a_{ij} x_{jk,0} | + \frac{1}{2p} \max_{i,j,k} (| a_{ij} x_{jk,0} |) + 1 \right).$$

Um diesen Ausdruck handlicher zu machen, wird folgende Abschätzung benutzt:

$$p \max_{i,j,k} (| a_{ij} x_{jk,0} |) \geqq \sum_1^p{}_j | a_{ij} x_{jk,0} |. \tag{10}$$

Damit erhält man

$$10^{m_1^* (x_0)} > \frac{30 p^3}{1-N_0} \left(\max_{i,j,k} (| a_{ij} x_{jk,0} |) + \frac{2}{3p} \right).$$

und mit

$$10^{\max_{i,j,k} (e(a_{ij}) + e(x_{jk,0}))} > \max_{i,j,k} (| a_{ij} x_{jk,0} |), \tag{11}$$

$$10^{m_1^* (x_0)} > \frac{30 p^3}{1-N_0} \cdot 10^{\max_{i,j,k} (e(a_{ij}) + e(x_{jk,0})) + 1}, \tag{12}$$

wobei unter $e(y)$ der Exponent der Zahl y verstanden sei, wenn für die Mantisse M mit Ausnahme von $y = 0$ gilt: $0{,}1 \leqq M < 1$.

Aus (12) folgt

$$m_1^* (x_0) > \max_{i,j,k} (e(a_{ij}) + e(x_{jk,0})) + \log \frac{300 p^3}{1-N_0}, \tag{13}$$

wobei $m_1^* (x_0)$ die kleinste ganze Zahl ist, die (13) genügt. Der letzte Term von (13) erfordert die Bestimmung von N_0. Um dies zu umgehen, wird die Bedingung (4) willkürlich in $N_0 < 0{,}9$ abgeändert. Dann erhält man für $m_1^* (x_0)$:

$$m_1^* (x_0) = \max_{i,j,k} (e(a_{ij}) + e(x_{jk,0})) + [\log 3 p^3] + 4,$$

wenn unter $[y]$ die größte unterhalb von y gelegene ganze Zahl verstanden sei.

Mittels der Forderung (6) ist also die Bestimmung von $m_1^* (x_0)$ durchgeführt.

4.1.2 Berücksichtigung der Anzahl geforderter gültiger Mantissenstellen

Die Forderung (6) enthält jedoch noch nicht die Forderung von einer bestimmten Anzahl gültiger Mantissenstellen, die die Inverse im Verlauf der Iteration aufweisen soll. Deshalb soll im folgenden untersucht werden, welchen Einfluß die geforderte Anzahl g gültiger Mantissenstellen auf $m_1 (x_0)$ hat.

Dieser Einfluß kann mittels der Fehler $\Delta d_{ik,0}$ der $d_{ik,0}$ betrachtet werden. Da lediglich der Einfluß auf $m_1 (x_0)$ untersucht werden soll, dürfen die Abbruchfehler bei der Bildung von $D_0 = X_0 C_0$ nicht berücksichtigt werden, ferner müssen die Elemente der vorderen Matrix X_0 als fehlerfrei angesehen werden, da $m_3 (x_0)$ unabhängig von $m_1 (x_0)$ bestimmt wird.

Dann gilt für die Fehler $\Delta d_{ik,0}$ auf Grund der Fehlerfortpflanzung

$$|\Delta d_{ik,0}| \approx | \sum_1^p{}_j x_{ij,0} \Delta c_{jk,0} |.$$

Schätzt man die rechte Seite wieder nach oben ab, so gilt näherungsweise

$$| \Delta d_{ik,0} | \leqq p \cdot \max_{i,j} (| x_{ij,0} |) \cdot \max_{j,k} (| \Delta c_{jk,0} |). \tag{14}$$

Nach (2) lautet die Forderung von g gültigen Mantissenstellen

$$| x_{ik} - x_{ik,n} | \leqq 0{,}5 \, | x_{ik,n} | \cdot 10^{-g}$$

für alle i und k. Da die $d_{ik,n}$ additive Korrekturglieder für die $x_{ik,n}$ sind, muß für deren Fehler von einem gewissen n ab erst recht gelten

$$| \Delta d_{ik,n} | \leqq 0{,}5 \, | x_{ik,n} | \cdot 10^{-g}.$$

Es muß zugelassen sein, daß bereits der erste Iterationsschritt die geforderte Anzahl gültiger Mantissenstellen liefert. Damit erhält man mit (14) für $\Delta c_{jk,0}$ die Bedingung

$$p \cdot \max_{i,j} (| x_{ij,0} |) \max_{j,k} (| \Delta c_{jk,0} |) \leqq 0{,}5 \, | x_{ik,0} | \cdot 10^{-g},$$

oder

$$\max_{j,k} (| \Delta c_{jk,0} |) \leqq \frac{| x_{ik,0} |}{2p \max_{i,j} (| x_{ij,0} |)} 10^{-g},$$

oder wenn der Faktor von 10^{-g} mit h_1 abgekürzt wird

$$\max_{j,k} (| \Delta c_{jk,0} |) \leqq h_1 \cdot 10^{-g}. \tag{15}$$

Ersetzt man in (7) und (8) $m_1^* (x_0)$ durch $m_1 (x_0)$, so erhält man für $\max_{j,k} (| \Delta c_{jk,0} |)$, wenn der Faktor von $10^{-m_1 (x_0)}$ mit h_2 abgekürzt wird

$$\max_{j,k} (| \Delta c_{jk,0} |) < h_2 \, 10^{-m_1 (x_0)}.$$

Mit (15) lautet dann die Forderung für $m_1 (x_0)$

$$h_2 \, 10^{-m_1 (x_0)} < h_1 \, 10^{-g},$$

oder

$$m_1 (x_0) > g + \log \frac{h_2}{h_1}.$$

Die Auswertung des zweiten Summanden ist sehr aufwendig. An dem ersten Summanden erkennt man jedoch, daß der Einfluß von g auf $m_1 (x_0)$ additiv ist. Aus diesem Grunde soll

$$m_1 (x_0) = m_1^* (x_0) + g$$

gesetzt werden.

Die bisherigen Betrachtungen wurden für den ersten Iterationsschritt ($n = 0$) durchgeführt. Bei Durchsicht der entsprechenden Formeln sieht man, daß beim Übergang zu den nächsten Iterationsschritten lediglich eine Änderung in dem Ausdruck $\max (e(a_{ij}) + e(x_{jk,0}))$ auftreten kann. Für den Fall, daß sich $m_1 (x_0)$ im Verlauf der Iteration als zu klein erweist, wird ein Korrekturterm k_n eingeführt, der im Verlauf der Iteration automatisch gesteuert wird.

4.1.3 Korrekturterm k_n

Unter g_n sei (wie oben bereits gesagt) die Anzahl gültiger Mantissenstellen der $x_{ik,n}$ verstanden (zu deren Bestimmung s. 5). Tritt der Fall ein, daß $g_n - g_{n-1} < g_{n-1} - g_{n-2}$ wird, d. h. die Anzahl zusätzlich gewonnener gültiger Mantissenstellen wird kleiner, so ist dies ein Hinweis darauf, daß $m_1(x_0)$ zu klein gewählt wurde. Da der Einfluß von g additiv ist, wird $m_1(x_{n+1}) = m_1(x_n) + k_{n+1}$ gesetzt, wobei für k_n gelten soll:

$$k_n \begin{cases} 0 \text{ für } n < 3 \\ \left.\begin{array}{l} 0 \text{ für } g_{n-1} \geqq 2g_{n-2} - g_{n-3} \\ g - g_{n-1} \text{ für } g_{n-1} < 2g_{n-2} - g_{n-3} \end{array}\right\} \text{ für } n \geqq 3. \end{cases}$$

Damit sind die bisherigen Ergebnisse auf die nächsten Iterationsschritte anwendbar.

Die Mantissenlängen für die Bildung von B_n und C_n sind also jetzt wie folgt festgelegt:

Für B_n:

$m_1(a)$ ist vorgegeben.

$$m_1(x_n) = \max_{i,j,k} (e(a_{ij}) + e(x_{jk,0})) + [\log 3\, p^3] + g + \sum_{\nu=0}^{n} k_\nu.$$

$m_1(a_{ij}\, x_{jk,n}) = m_1(x_n)$.

Die drei Mantissenlängen für die Additionssubroutine für die Bildung von B_n sind gleich, und zwar ist $m_1(b_n) = m_1(x_n)$.

Für C_n:

$m_2(b_n) = m_2(c_n) = m_1(x_n)$.

$m_2(e) = 1$.

Als nächstes sollen die erforderlichen Mantissenlängen für die Bildung von $D_n = X_n C_n$ bestimmt werden.

4.2 Mantissenlängen für die Berechnung von D_n

Die Mantissenlängen für die Bildung von D_n müssen so gewählt werden, daß die bei dem entsprechenden Iterationsschritt mit Verwendung unendlicher Mantissenlängen erreichbare Anzahl zusätzlicher gültiger Mantissenstellen auch mit den endlichen Mantissenlängen erreicht wird. Deshalb soll zunächst die Anzahl erzielbarer zusätzlicher gültiger Mantissenstellen pro Iterationsschritt abgeschätzt werden. Wählt man die kleinste ganze positive Zahl ζ_{n+1}, die die Ungleichung

$$10^{-\zeta_{n+1}} < \frac{N(D_{n+1})}{N(D_n)} \tag{16}$$

befriedigt, so ist ζ_{n+1} eine Abschätzung für eine mittlere Anzahl zusätzlich gewonnener gültiger Mantissenstellen bei den $x_{ik,n+1}$ gegenüber den $x_{ik,n}$.

Aus (1) folgt unmittelbar

$$E - AX_{n+1} = (E - AX_n)^2,$$

oder

$$C_{n+1} = C_n^2.$$

Dann gilt

$$D_{n+1} = X_{n+1} C_{n+1} = D_n (C_n + C_n^2), \tag{17}$$

und bei Bildung der Norm unter Verwendung von (5) und Einsetzen in (16)

$$10^{-\zeta_{n+1}} < N(C_n)(1 + N(C_n)),$$

oder

$$\zeta_{n+1} > -\log N(C_n) - \log(1 + N(C_n)).$$

Diese Abschätzung liefert nur eine mittlere Anzahl zusätzlich gewonnener gültiger Mantissenstellen und ist allein praktisch nicht verwertbar. Man erkennt jedoch, daß ζ_{n+1} wesentlich von $\log N(C_n)$ und damit auch von $\max\limits_{i,k}(e(c_{ik,n}))$ abhängt.

Bezeichnet man mit $z^*_{ik,n+1}$ die Anzahl zusätzlich gewonnener gültiger Mantissenstellen von $x_{ik,n+1}$ gegenüber $x_{ik,n}$, so soll

$$z^*_{n+1} = \min_{i,k} (z^*_{ik,n+1})$$

vorläufig durch

$$z_{n+1} = -\max_{i,k} (e(c_{ik,n})) + 1 \tag{18}$$

abgeschätzt werden. Die Bedeutung der 1 ergibt sich noch im folgenden. Für eine brauchbare Abschätzung soll wieder ein Korrekturterm r_n eingeführt werden.

Es sei vorausgesetzt, daß die Mantissenlängen für die Bildung von D_n so groß sind, daß die Abbruchfehler vernachlässigt werden können. Dann muß bei richtiger Vorausschätzung $z_n = z^*_n$ gelten.

Mittels des Ansatzes

$$z_{n+1} = (1 - \max_{i,k}(e(c_{ik,n}))) \prod_{\nu=1}^{n} \frac{z^*_\nu}{z_\nu}$$

suchen wir zu erreichen, daß mit wachsendem n

$$\frac{z^*_{n+1}}{z_{n+1}} \approx \frac{z^*_n}{z_n} \quad \text{oder} \quad z^*_{n+1} \approx z_{n+1} \frac{z^*_n}{z_n} \tag{19}$$

gilt. Dann kann man das mit dem Faktor z^*_n/z_n multiplizierte z_{n+1} als korrigiertes z_{n+1} ansehen. Als Abschätzung für z^*_{n+1} benutzt man dann

$$z_{n+1} = [(1 - \max_{i,k}(e(c_{ik,n})))\, r_n] + 1,$$

wobei der Korrekturterm r_n durch

$$r_n = \prod_{\nu=1}^{n} \frac{z^*_\nu}{z_\nu} \tag{20}$$

definiert ist. Wegen $\max(e(c_{ik,n})) \leqq 0$ und der in (18) zusätzlich eingeführten 1 kann der Nenner in (20) nicht Null werden. Da der Zähler ebenfalls nicht Null werden soll, da sonst von diesem n ab r_n stets Null wäre, wird in dem Fall $z^*_n = 0$ willkürlich $z^*_n = 1$ gesetzt.

Beim ersten Iterationsschritt liegt noch kein Korrekturterm vor. Wir setzen deshalb r_1 willkürlich gleich 1.

Mit der Kenntnis von z_n kann man nun die Mantissenlängen für die Bildung von $D_n = X_n C_n$ festlegen.

Es handelt sich dabei um die Mantissenlängen $m_3(x_n)$ und $m_3(c_n)$.

Will man keine näheren Untersuchungen über die Verhältnisse der relativen Fehler der $x_{ik,n}$ zu denen der $c_{ik,n}$ durchführen, so ist es sinnvoll, sie als gleich anzusehen. Damit ergibt sich aber nach den obigen Ergebnissen bei der Multiplikation $PQ = R$

$$m_3(x_n) = m_3(c_n) = m_3(d_n),$$

wobei $m_3(d_n)$ die Mantissenlänge der Elemente der Matrix D_n ist. Also muß für die Berechnung von D_n nur noch $m_3(x_n)$ bestimmt werden. Da $m_3(x_n)$ so gewählt werden soll, daß die vorausgeschätzte Anzahl z_{n+1} zusätzlicher gültiger Mantissenstellen auch tatsächlich erreicht wird, muß $m_3(x_n)$ mindestens z_{n+1} sein. Damit bei richtiger Vorausschätzung $z_n = z^*_n$ ist, war oben vorausgesetzt, daß die Abbruchfehler bei der Bildung von D_n vernachlässigbar klein sind. Diese Voraussetzung soll durch einen Korrekturterm q_n erfüllt werden.

4.2.1 Korrekturterm q_n

Der maximale relative Abbruchfehler der $x_{ik,n}$ und der $c_{ik,n}$ ist kleiner als $10^{1-m_3(x_n)}$. Der daraus resultierende maximale relative Fehler des Produktes $x_{ij,n}\, c_{jk,n}$ unter Berücksichtigung des erneuten Abbruchfehlers ist dann kleiner als $3 \cdot 10^{1-m_3(x_n)}$.

Man erhält dann auf Grund der Fehlerfortpflanzung dieses Fehlers für den relativen Fehler $\varrho_1(d_{ik,n})$ der $d_{ik,n}$

$$|\varrho_1(d_{ik,n})| < \frac{3p}{|d_{ik,n}|} \max_{i,j,k} (|x_{ij,n}\, c_{jk,n}|) \cdot 10^{1-m_3(x_n)}.$$

Für den relativen Fehler $\varrho_2(d_{ik,n})$ auf Grund der Abbruchfehler während der Addition erhält man

$$|\varrho_2(d_{ik,n})| < \frac{p}{|d_{ik,n}|} \max_{i,j,k} (|x_{ij,n}\, c_{jk,n}|) \cdot 10^{1-m_3(x_n)},$$

und damit für den gesamten relativen Fehler $\varrho(d_{ik,n})$ auf Grund der Abbruchfehler während der Bildung von D_n

$$|\varrho(d_{ik,n})| < \frac{40p}{|d_{ik,n}|} \max_{i,j,k} (|x_{ij,n}\, c_{jk,n}|) \cdot 10^{-m_3(x_n)}.$$

Mit $\varrho_n = \max_{i,k} (|\varrho(d_{ik,n})|)$ muß die Forderung

$$\varrho_n < 10^{-z_n+1}$$

erfüllt sein. Die Mantissenlänge $m_3(x_n)$ wird nun in der Form $m_3(x_n) = z_{n+1} + q_n$ angesetzt. Dann erhält man für ein vorläufiges $\tilde{q}_n$ die Bedingung

$$\tilde{q}_n > \log\left(\max_{i,k}\left(\frac{\max_j (|x_{ij,n}\, c_{jk,n}|)}{|d_{ik,n}|}\right)\right) + \log(40p)$$

oder

$$\tilde{q}_n > \max_{i,k} (\max_j (e(x_{ij,n}\, c_{jk,n})) - e(d_{ik,n})) + \log(4p) + 2, \quad (21)$$

wobei $\tilde{q}_n$ die kleinste ganze Zahl sein soll, die (21) genügt. Man erhält so für $\tilde{q}_n$:

$$\tilde{q}_n = \max_{i,k} (\max_j (e(x_{ij,n}\, c_{ik,n})) - e(d_{ik,n})) + [\log(4p)] + 3.$$

Dieser Ausdruck läßt sich erst im Verlaufe der Berechnung von D_n bilden. Da zu diesem Zeitpunkt aber bereits $m_3(x_n)$ und damit q_n bekannt sein muß, wird angenommen, daß $\tilde{q}_n \approx \tilde{q}_{n+1}$ ist. Dann kann man $\tilde{q}_n$ als q_{n+1} benutzen, d. h., der Korrekturterm wird mit einer Verzögerung von einem Iterationsschritt angewendet.

Also wird als q_{n+1} benutzt

$$q_{n+1} = \max_{i,k} (\max_j (e(x_{ij,n}\, c_{jk,n})) - e(d_{ik,n})) + [\log(4p)] + 3.$$

Für den ersten Iterationsschritt liegt nun kein Korrekturterm vor, desgleichen ist die Abschätzung für z_0 noch sehr unsicher, da noch keine Korrektur an Hand von z^*_0 erfolgen konnte.

Es wird deshalb für den ersten Iterationsschritt $m_3(x_0) = m_1(x_0)$ gesetzt, womit $m_3(x_0)$ sicher zu groß gewählt ist.

Damit sind alle Mantissenlängen für die Bildung von D_n wie folgt festgelegt:

$$m_3(x_n) = \begin{cases} m_1(x_0) & \text{für } n = 0 \\ [(1 - \max_{i,k}(e(c_{ik,n})))\, r_n] + [\log(4p)] + 4 + \max_{i,k} & \\ (\max_j (e(x_{ij,n-1} c_{jk,n-1})) - e(d_{ik,n-1})) & \text{für } n \geqq 1, \end{cases}$$

$$\text{wobei } r_n = \prod_{\nu=1}^{n} \frac{z^*_\nu}{z_\nu} \text{ ist.}$$

$$m_3(c_n) = m_3(x_{ij,n}\, c_{jk,n}) = m_3(x_n).$$

Die drei Mantissenlängen für die Additionssubroutine für die Bildung von D_n sind gleich, und zwar ist

$$m_3(d_n) = m_3(x_n).$$

4.3 *Mantissenlängen für die Bildung von* X_{n+1}

Jetzt verbleibt nur noch die Festlegung der Mantissenlängen für die Bestimmung von $X_{n+1} = X_n + D_n$.

Diese Mantissenlängen sind durch das bisherige bereits wie folgt festgelegt:

$$m_1(x_{n+1}) = m_4(x_n) = m_1(x_n).$$
$$m_4(d_n) = m_3(d_n).$$

Bei den Korrekturtermen k_n, q_n und r_n wurde die Kenntnis der Anzahl g_n gültiger Mantissenstellen bei den $x_{ik,n}$ vorausgesetzt. Diese Kenntnis soll jetzt mittels einer Fehlerabschätzung für die Elemente von X_n verschafft werden.

5. Fehlerabschätzung für die Elemente von X_n

Unter Berücksichtigung von (5) und (17) findet man

$$D_n = X_n C_n = (X_{n-1} + D_{n-1})\, C_0^{2^n} = (X_0 + \sum_{\nu=0}^{n-1} D_\nu)\, C_0^{2^n}.$$

Wie man sich durch vollständige Induktion leicht überzeugt, gilt

$$D_n = X_0 \left(\sum_{\nu=1}^{2^n} C_0^\nu\right) C_0^{2^n-1}.$$

Für die Elemente $d_{ik,n}$ von D_n erhält man dann

$$d_{ik,n} = X_{i.,0} \left(\sum_{\nu=1}^{2^n} C_0^\nu\right) C_0^{2^n-2}\, C_{.k,0}, \quad (22)$$

wenn man unter $X_{i.,0}$ den i-ten Zeilenvektor von X_0 und unter $C_{.k,0}$ den k-ten Spaltenvektor von C_0 versteht.

Schätzt man (22) nach oben ab, so erhält man unter Beachtung der Ungleichungen (5)

$$|d_{ik,n}| \leqq \frac{N(X_{i.,0})\, N(C_{.k,0})}{N(C_0)\,(1 - N(C_0))}\, N(C_0)^{2^n}. \quad (23)$$

Für $x_{ik} = \lim_{n\to\infty} x_{ik,n}$ gilt

$$x_{ik} = x_{ik,N} + \sum_{\nu=N+1}^{\infty} d_{ik,\nu}$$

und damit

$$|x_{ik} - x_{ik,N}| \leqq \sum_{\nu=N+1}^{\infty} |d_{ik,\nu}|. \quad (24)$$

Berechnet man nach der Bestimmung von X_n noch C_n, so läßt sich $|x_{ik} - x_{ik,n}|$ wegen (23) und (24) wie folgt bestimmen:

$$|x_{ik} - x_{ik,n}| \leqq \frac{N(X_{i.,n})\, N(C_{.k,n})}{N(C_n)\,(1 - N(C_n))} \sum_{\nu=0}^{\infty} N(C_n)^{2^\nu}$$

$$\leqq \frac{N(X_{i.,n})\, N(C_{.k,n})}{(1 - N(C_n))^2}$$

$$\leqq \frac{p \max_i (|x_{ik,n}|) \max_k (|c_{ik,n}|)}{(1 - N(C_n))^2}.$$

Ist $\max_{i,k} (|c_{ik,n}|) < \frac{1}{2p}$, so erhält man

$$|x_{ik} - x_{ik,n}| \leqq \frac{p \max_i (|x_{ik,n}|) \max_k (|c_{ik,n}|)}{1 - 2p \max_{i,k} (|c_{ik,n}|)}.$$

Ist jedoch $\max_{i,k} (|c_{ik,n}|) \geqq 2p$, so macht man wieder von der Forderung $N_0 < 0{,}9$ Gebrauch, und erhält

$$|x_{ik} - x_{ik,n}| \leqq 100p \max_i (|x_{ik,n}|) \max_k (|c_{ik,n}|).$$

Die Anzahl gültiger Mantissenstellen von $x_{ik,n}$ ist dann die größte ganze positive Zahl $g_{ik,n}$, die

$$g_{ik,n} < e\left(\frac{1 - 2p \max\limits_{i,k}(|c_{ik,n}|)}{2p} \frac{|x_{ik,n}|}{\max\limits_{i}(|x_{ik,n}|) \max\limits_{k}(|c_{ik,n}|)}\right) - 1 \qquad (25)$$

bzw.

$$g_{ik,n} < e\left(\frac{|x_{ik,n}|}{200p \max\limits_{i}(|x_{ik,n}|) \max\limits_{k}(|c_{ik,n}|)}\right) - 1 \qquad (26)$$

erfüllt. Die interessierende Anzahl g_n gültiger Mantissenstellen ist dann

$$g_n = \min_{i,k}(g_{ik,n}).$$

Der für die Bestimmung von g_n erforderliche Aufwand ist nicht hoch, da die in (25) bzw. (26) erforderlichen Größen bereits vorher anfallen und abgespeichert werden und die Berechnung der $g_{ik,n}$ mit einer Gleitkommarechnung von zwei Mantissenstellen erfolgt.

Die oben häufig benutzte Anzahl z^*_{n+1} zusätzlicher gültiger Mantissenstellen von X_{n+1} gegenüber X_n ist nun wie folgt bestimmt:

$$z^*_{n+1} = g_{n+1} - g_n.$$

Mit der Kenntnis der g_n ist gleichzeitig die Frage nach der Beendigung der Iteration beantwortet. Die Iteration ist beendet, wenn $g_n \geqq g$ geworden ist.

Literatur

[1] *G. Schulz*, Iterative Berechnung der reziproken Matrix, Z. angew. Math. Mech. Bd. 13 (1933), S. 57—59.

[2] *E. Bodewig*, Matrix Calculus, North-Holland Publishing Company-Amsterdam 1956.

ALGOL-Manual der ALCOR-Gruppe Teil 2

ALGOL Manual of the ALCOR group Part 2

Herausgegeben von den Mitgliedern der ALCOR-Gruppe
Bearbeitet von R. BAUMANN, Mainz

Elektron. Rechenanl. 3(1961), H. 6, S. 259—265
Teil 1 dieser Arbeit erschien in 3 (1961), H. 5, S. 206—212
Die vorliegende Arbeit wurde abgeschlossen im März 1961. Einige Angaben wurden auf den neuesten Stand gebracht.

GLIEDERUNG

Teil 2

3. Programmaufbau

Mit den Wertzuweisungen und Typenvereinbarungen haben wir Gebilde unserer Formelsprache kennengelernt, die etwa den „Sätzen" einer Umgangssprache vergleichbar sind. Im Gegensatz zu den Typenvereinbarungen, durch die eine Eigenschaft festgelegt wird, wird durch eine Wertzuweisung eine Tätigkeit befohlen. Allgemein werden wir Gebilde unserer Sprache, die den Charakter einer Feststellung haben, „Vereinbarungen" nennen, während wir solche, die den Charakter von Befehlen haben, als „Anweisungen" bezeichnen.

3.1. Die einfache Anweisung

Die Grundform der einfachen Anweisung haben wir in der „Wertzuweisung durch einen Ausdruck" (2.2.2.) bereits kennengelernt.

$$V := E;$$

Sie bedeutet für die Rechenanlage eine unmittelbare Aufforderung zur Berechnung des Zahlenwertes von E und zur Zuordnung dieses Zahlenwertes zur Variablen V. Erst wenn diese Tätigkeit vollständig ausgeführt ist, geht die Rechenanlage zur nächsten Anweisung über.

In derselben Weise wird durch die Anweisungen

READ (V); eine Wertzuweisung durch Eingabe

PRINT (V); eine Wertausgabe durch Ausgabe

befohlen.

3.2. Die zusammengesetzte Anweisung

Eine Folge einfacher Anweisungen schreibt der Maschine eindeutig einen bestimmten Tätigkeitsablauf vor, kann also mit Recht wieder als *eine* Anweisung betrachtet werden. In der Niederschrift bringt man diesen Sachverhalt durch „Einklammerung" der Folge mit Hilfe der Wortsymbole

'BEGIN' — 'END'

zum Ausdruck.

Eine zusammengesetzte Anweisung hat die Form

'BEGIN' S; . . . S 'END'

wo S stellvertretend für irgendwelche Anweisungen[1]) steht, auch für zusammengesetzte und solche, die erst an späteren Stellen des Manuals eingeführt werden.

Die Bildung der zusammengesetzten Anweisung ist immer nötig, wenn eine Folge von Anweisungen nach einem gemeinsamen Gesichtspunkt (z. B. einer Bedingung, der sie zu unterwerfen ist) behandelt werden soll. Dabei können zusammengesetzte Anweisungen ohne Zuhilfenahme anderer Begrenzungssymbole beliebig ineinandergeschachtelt werden. Die Bedeutung der Symbole 'BEGIN' oder 'END' ist nämlich durch ihre Stellung eindeutig festgelegt. Die Auswertung der 'BEGIN' 'END' — Struktur entspricht im übrigen genau der Auswertung der Klammerstruktur bei den arithmetischen Ausdrücken.

3.3. Das Programm

Von der zusammengesetzten Anweisung zum vollständigen Programm ist nur ein kleiner Schritt. Er besteht in der Einbeziehung aller Vereinbarungen, die für die zusammengesetzte Anweisung nötig sind. Es wurde an früheren Stellen bereits erwähnt, daß die Typenvereinbarung an der Spitze des Programms stehen muß. Das gilt allgemein für Vereinbarungen.

Ein Programm hat also die Form

'BEGIN' D; . . . D; S; . . . S 'END'

wo der Buchstabe D für Vereinbarungen[2]), S für Anweisungen[2]) gesetzt ist. Es ist klar abgeteilt in den vorangehenden Vereinbarungsteil und den darauffolgenden Anweisungsteil. Ein Programm unterscheidet sich also von einer zusammengesetzten Anweisung durch den Vereinbarungsteil.

3.4. Erläuternder Text

Zur Erleichterung der Übersicht können erläuternde Texte beliebiger Zusammensetzung und Länge in die Niederschrift eingestreut werden, wenn sie mit dem Wortsymbol 'COMMENT' eingeleitet werden. Das Zeichen „;" wird als Schlußzeichen gesetzt und darf deshalb innerhalb des Textes nicht vorkommen. Das ganze Gebilde

'COMMENT' Text;

wird als leere Anweisung behandelt und ist für den aus dem Programm resultierenden Rechnungsablauf bedeutungslos.

Außerdem ist das Wortsymbol 'END' fast gleichbedeutend mit 'END' 'COMMENT'. Auch anschließend an 'END' kann beliebig erläuternder Text gesetzt werden. Er wird in diesem Fall durch das die zusammengesetzte Anweisung abschließende Semikolon oder durch ein weiteres Wortsymbol 'END' oder durch das Wortsymbol 'ELSE' abgeschlossen und darf deshalb diese Zeichen bzw. Wortsymbole nicht enthalten.

[1]) S bedeutet eine Anweisung ohne das abschließende Semikolon. Demnach kann bei der letzten Anweisung der Folge das abschließende Semikolon entfallen. Es kann jedoch der Deutlichkeit halber auch gesetzt werden.
[2]) ohne das abschließende Semikolon.

3.5. Beispiel

Wir wollen an dieser Stelle für ein einfaches Beispiel zum ersten Mal ein abgeschlossenes arbeitsfähiges Programm aufstellen.

Der Wert eines durch seine Koeffizienten gegebenen Polynoms 3. Grades

$$P(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$$

mit Koeffizienten, die speziell die Werte

$$a_0 = 1{,}5;\ a_1 = 116;\ a_2 = 27{,}4;\ a_3 = 0{,}987;$$

haben, sei für einen vorgegebenen Argumentwert x_1, speziell $x_1 = 134{,}68$ zu berechnen.

Programm:

```
'BEGIN'     'COMMENT' POLYNOMWERT-
            BESTIMMUNG;

            'REAL' A0, A1, A2, A3, X1, P;
            READ (A0, A1, A2, A3, X1);
            P := ((A3×X1 + A2)×X1 + A1)×X1 + A0;
            PRINT (P)
'END'
```

Auf dem zugehörigen Zahlstreifen (bzw. Kartenstapel) müssen der Reihe nach die Werte von $a0$, $a1$, $a2$, $a3$, $x1$ stehen.

Zahlstreifen:

```
1.5, 116, 27.4, 0.987, 1.3468₁₀2;
```

4. Die Laufanweisung

Ein wichtiges Element der Programmierung ist die zyklische Wiederholung von Programmteilen. Die Anzahl der Wiederholungen kann entweder durch ein bestimmtes Rekursionsschema bereits festgelegt sein oder etwa durch ein numerisches Kriterium erst während des Ablaufes der Rechnung bestimmt werden. Den erstgenannten einfacheren Fall wollen wir in diesem Abschnitt behandeln.

4.1. Reine Wiederholung

Zur Kennzeichnung der Wiederholungsschritte führen wir eine einfache Variable als „Laufvariable" ein. Wir beschreiben den „Lauf" dieser Variablen

entweder durch Angabe von Anfangswert, Schrittweite, Endwert in der Form

'FOR' V := E 'STEP' E 'UNTIL' E

oder durch direkte Angabe eines Wertes in der Form

'FOR' V := E

E bedeutet jeweils einen beliebigen Ausdruck. Das Zuordnungszeichen deutet an, daß die Laufangabe die Bedeutung einer Wertzuweisung an die Laufvariable hat. Auf die Laufangabe folgt der zu wiederholende Programmteil, d. i. eine einfache oder zusammengesetzte Anweisung. Laufangabe und Wiederholungsteil bilden zusammen eine neue Anweisung. Am Schluß ist ein Semikolon zu setzen.

Form:

'FOR' V := L 'DO' S ;

wo als neue Abkürzung L für E 'STEP' E 'UNTIL' E oder einfach nur E steht.

Mehrere Laufangaben, die sich auf denselben Programmteil beziehen, können zusammengefaßt werden.

Form:

'FOR' $V := L, L, \ldots, L$ 'DO' S;

Beispiel:

Wir erweitern die dem Beispiel 3 zugrundeliegende Aufgabe dadurch, daß wir annehmen, es seien n Polynomwerte zu berechnen.

```
'BEGIN'
        'REAL' A0, A1, A2, A3, Z, P;
        'INTEGER' N , I;

        READ (A0, A1, A2, A3);
        READ (N);

        'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
              'BEGIN'
                      READ (Z);
                      P := ((A3×Z + A2)×Z + A1)
                           ×Z + A0;
                      PRINT (P)
              'END' I

'END'
```

Auch Laufanweisungen können ineinandergeschachtelt werden. Nehmen wir etwa im vorigen Beispiel an, die Bestimmung von Polynomwerten sei an m Polynomen auszuführen, dann erweitert sich das Programm in folgender Weise:

```
'BEGIN'
        'REAL' A0, A1, A2, A3, Z, P;
        'INTEGER' M, N, I, J;

        READ (M);

        'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO'
          'BEGIN'
            READ (A0, A1, A2, A3);
            READ (N);

            'FOR' J := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
              'BEGIN'
                READ (Z);
                P := ((A3×Z + A2)×Z + A1)×Z + A0;
                PRINT (P)
              'END' J
          'END' I
'END'
```

Für den Zahlstreifen ist dadurch die Reihenfolge der Zahlenwerte festgelegt:

$$m,\ a_0^{(1)},\ a_1^{(1)},\ a_2^{(1)},\ a_3^{(1)},\ n_1,\ z_1^{(1)},\ \ldots\ z_{n_1}^{(1)},$$
$$a_0^{(2)},\ a_1^{(2)},\ a_2^{(2)},\ a_3^{(2)},\ n_2,\ z_1^{(2)},\ \ldots\ z_{n_2}^{(2)},$$
$$a_0^{(m)},\ a_1^{(m)},\ a_2^{(m)},\ a_3^{(m)},\ n_m,\ z_1^{(m)},\ \ldots\ z_{n_m}^{(m)}.$$

Der oben eingeklammerte Index gibt an, zu welchem Polynom die Werte gehören.

4.2. Indizierte Variable

In den bisher behandelten Fällen hat der Wert der Laufvariablen keinen Einfluß auf den Ablauf des bei der Rechnung zu wiederholenden Programmteiles. Es war auch mit den bisherigen Mitteln noch nicht möglich, einen so einfachen Prozeß wie die Summenbildung

$$s = \sum_{i=1}^{i=n} z_i$$

in Anlehnung an die Formel, d. h. unter Verwendung eines Laufindexes zu programmieren. Das führt uns zwangsläufig dahin, indizierte Größen in unseren Sprachschatz aufzunehmen.

Bei indizierten Variablen bezeichnet der Name nicht einen einzelnen Zahlenwert, sondern ein Feld von Zahlenwerten, die den einzelnen Komponenten zugeordnet sind. Hinter dem Namen wird in eckigen Klammern die Indexliste aufgeführt. Sie enthält, durch Kommata getrennt, einen Ausdruck für jede vorgesehene Indexposition.

Algolschreibweise	gewöhnliche Schreibweise	Bedeutung
X[1]	x_1	1. Komponente des Vektors x
A1[I + 1, K]	$a1_{i+1,k}$	Das Element in der $(i+1)$-ten Zeile und k-ten Spalte der Matrix $a1$
Y[A[R + 1], L + 1]	$y_{a_{r+1},\,l+1}$	Das Element in der a_{r+1}-ten Zeile und $(l+1)$-ten Spalte der Matrix y.

Welche Komponente des Feldes gemeint ist, ergibt sich in den beiden letzten Fällen erst im Ablauf der Rechnung durch jeweilige Auswertung der Ausdrücke auf den Indexpositionen. Es ist selbstverständlich nötig, daß diese Auswertung nach dem über arithmetische Ausdrücke Gesagten möglich ist und mathematisch eine ganze Zahl ergibt.

Indizierte Variable können als Bestandteile eines Ausdruckes nur verwendet werden, wenn bezüglich des Variablennamens an der Spitze des Programms statt der bei einfachen Variablen verlangten Typenvereinbarung eine besondere Feldvereinbarung (siehe 4.2.1.) getroffen wurde. Eine bestimmte Komponente kann erst dann verwendet werden, wenn für diese Komponente eine Wertzuweisung vorausgegangen ist.

4.2.1. Feldvereinbarung

Durch die Feldvereinbarung werden die Anzahl der Indizes und die Laufbereiche der auf den Indexpositionen einer indizierten Variablen vorkommenden Zahlenwerte für jede Indexposition durch Angabe ganzzahliger Laufgrenzen festgelegt. Das Wortsymbol für die Feldvereinbarung ist 'ARRAY'.

'ARRAY' A[1:10, 1:20];

legt z. B. fest, daß a der Name einer zweifach indizierten Variablen ist, bei der auf der ersten Indexposition Werte zwischen 1 und 10 und auf der zweiten Indexposition Werte zwischen 1 und 20 (einschließlich der Grenzen) vorkommen können. Die Vereinbarung ist zur Platzreservierung nötig.

Variable vom gleichen Typ, bei denen Anzahl und Laufbereich der Indizes einzeln übereinstimmen, können zu einer Variablenliste mit einmaliger Feldangabe zusammengefaßt werden, z. B.

'ARRAY' A, B, C[1:5];

Die Feldvereinbarung schließt eine Typenvereinbarung 'REAL' mit ein, wenn nichts anderes angegeben wird. Soll 'INTEGER' als Typ vereinbart werden, so ist diese Vereinbarung mit der Feldvereinbarung zusammenzufassen in eine Vereinbarung 'INTEGER' 'ARRAY'.

Beispiele:

'ARRAY' A, B, C[1:10], D, EG[1:10, 1:20];

'INTEGER' 'ARRAY' N, M[1:4];

4.2.2. Wertzuweisung bei indizierten Variablen

Der Name der indizierten Variablen ist der Sammelname für einen Satz von Zahlenwerten. Jede innerhalb der Laufgrenzen liegende Indexkombination legt eine bestimmte Komponente der Variablen fest. Die einzelnen Komponenten entsprechen durchaus den früher behandelten einfachen Variablen. Alles, was in 2. über einfache Variable gesagt wurde, gilt unverändert für die einzelnen Komponenten der indizierten Variablen.

4.3. Rekursion

4.3.1. Indexrekursion

Wenn die Laufvariable einer Laufanweisung in dem zu wiederholenden Programmteil in irgendwelchen auf Indexposition stehenden Ausdrücken vorkommt, so wird dieser Programmteil mit wechselnden Komponenten des betreffenden Feldes oder der betreffenden Felder wiederholt (Rekursion nach dem Index).

So hat z. B. der Programmausschnitt (vgl. Beispiel Seite 211)

```
S := 0;
'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' 3 'DO'
S := S + A[I];
```

die Bedeutung

```
S := 0;
S := S + A[1];
S := S + A[2];
S := S + A[3];
```

4.3.2. Allgemeine Rekursion

Die Laufvariable kann auch unmittelbar in Ausdrücken vorkommen. So dient z. B. zur Berechnung von

$$F(x, n) = x \cdot (x - 1) \cdot (x - 2) \cdot ...(x - n + 1)$$

das folgende Programmstück:

```
FACT := 1;
'FOR' I := 0 'STEP' 1 'UNTIL' N — 1 'DO'
FACT := (X — I) × FACT;
```

Im allgemeinsten Fall der Rekursion kommt die Laufvariable sowohl unmittelbar in Ausdrücken, wie auch in Ausdrücken auf Indexposition vor (vgl. Beispiel 4.4.2.).

4.4. Beispiele

4.4.1. Beispiel für Laufanweisungen mit Indexrekursion

Wir betrachten einfache Vektoroperationen. Gegeben seien zwei Vektoren x und y mit n Komponenten. Zu bestimmen sei der Summenvektor

$$s = x + y,$$

der Differenzvektor

$$d = x - y$$

und der durch Projektion von y auf x entstehende Vektor

$$p = x \cdot \frac{(xy)}{(xx)}$$

(xy) bezeichnet das skalare Produkt von x und y,

(xx) bezeichnet das skalare Produkt von x mit sich selbst.

```
'BEGIN'
        'REAL' SKALAR, BETRAG, NORM;
        'INTEGER' I, N;
        'ARRAY' X, Y, S, D, P [1:100];
        READ (N);
        SKALAR := BETRAG := 0;
        'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
          'BEGIN'
                READ (X[I], Y[I]);
                S[I] := X[I] + Y[I];
                D[I] := X[I] — Y[I];
                PRINT (S[I], D[I]);
                SKALAR := SKALAR + X[I] × Y[I];
                BETRAG := BETRAG + X[I] × X[I]
          'END';
        NORM := SKALAR/BETRAG;
        'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
          'BEGIN'
                P[I] := X[I] × NORM;
                PRINT (P[I])
          'END'
'END'
```

Die Feldvereinbarung ist so ausgelegt, daß die Vektoren x und y bis zu 100 Komponenten haben können.

4.4.2. Beispiel für eine Laufanweisung mit allgemeiner Rekursion

Gegeben sei ein Polynom vom Grade n, das durch seine Koeffizienten a_0, a_1, ...a_n bestimmt ist. Zu berechnen ist der Wert der Ableitung an der Stelle c.

$$p(x) = \sum_{\nu = 0}^{\nu = n} a_\nu x^\nu$$

$$p'(x) = \sum_{\nu = 1}^{\nu = n} \nu a_\nu x^{\nu - 1}$$

Den Wert $p'(c)$ berechnen wir durch Anwendung des Hornerschemas auf das Polynom $p'(x)$. Es ergibt sich folgendes Programm:

```
'BEGIN' 'COMMENT' ABLEITUNG EINES POLYNOMS;
        'INTEGER' N, I;
        'REAL' P, C;
        'ARRAY' A [1:20];
        READ (N, C);
        'FOR' I := 1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO'
            READ (A [I]);
        P := 0;
        'FOR' I := N 'STEP'—1 'UNTIL' 1 'DO'
              P := P × C + I × A[I];
        PRINT (P)
'END'
```

5. Die Bedingungsanweisung

Häufig ist die Ausführung einer Anweisung an bestimmte Bedingungen geknüpft. So kann z. B. die Wertzuweisung

durch einen Ausdruck nur ausgeführt werden, wenn die Argumente aller im Ausdruck vorkommenden Standardfunktionen innerhalb des Definitionsbereiches liegen und wenn Divisoren nicht so klein werden, daß der Zahlenwert des Quotienten außerhalb des Zahlenbereichs der Rechenanlage liegen würde (insbesondere bei Division durch Null!).

Mit Hilfe der hier zu besprechenden Bedingungsanweisungen kann die Ausführung eines Programmstückes von gewissen Bedingungen abhängig gemacht werden.

5.1. Die Bedingungsklausel

Zur Formulierung der Bedingung bedienen wir uns des Vergleiches der Zahlenwerte arithmetischer Ausdrücke. Unter den Wortsymbolen finden sich die 6 Vergleichszeichen

Wortsymbol	Bedeutung	math. Symbol
'LESS'	kleiner	$<$
'NOT GREATER'	nicht größer	$\leq$
'EQUAL'	gleich	$=$
'NOT LESS'	nicht kleiner	$\geq$
'GREATER'	größer	$>$
'NOT EQUAL'	ungleich	$\neq$

Damit können Aussagen der Form

$$E_1 \varrho E_2$$

formuliert werden, wo ϱ eines der 6 Vergleichszeichen und E_1 und E_2 zwei beliebige arithmetische Ausdrücke bedeuten. Die „Bedingungsklausel" besteht aus dem Wortsymbol 'IF' und einer darauffolgenden Vergleichsaussage.

Form: 'IF' $E_1 \varrho E_2$

Wann immer im Ablauf des Programms eine solche Bedingungsklausel erscheint, werden die Zahlenwerte der Ausdrücke E_1 und E_2 neu errechnet. Dann wird festgestellt, ob die Vergleichsaussage wahr ist oder falsch. Davon hängt der weitere Ablauf des Programms ab.

5.2. Die einseitige Form der Bedingungsanweisung

In der einseitigen Form der Bedingungsanweisung schließt sich an die Bedingungsklausel der Anweisungsteil

'THEN' S;

an. S ist dabei irgendeine einfache oder zusammengesetzte Anweisung. Die Bedingungsanweisung hat also die Form

'IF' B 'THEN' S;

wo B als Abkürzung für die Vergleichsaussage $E_1 \varrho E_2$ gesetzt ist.

Ist S selbst eine Bedingungsanweisung, so muß sie der Eindeutigkeit der Schreibweise wegen durch 'BEGIN' und 'END' eingeschlossen sein.

Beispiel:

```
'IF' X 'GREATER'—1 'THEN'
'BEGIN'
    'IF' X 'NOT EQUAL' 0 'THEN'
        X := 1/X
'END';
```

Ist B wahr, so wird S ausgeführt.
Ist B falsch, so wird S nicht ausgeführt. Das Programm läuft dann sofort bei der auf S folgenden Anweisung weiter. Man pflegt zu sagen, „S wird übersprungen".

Die Einseitigkeit tritt in der schematischen Darstellung besonders deutlich zutage (Bild 1):

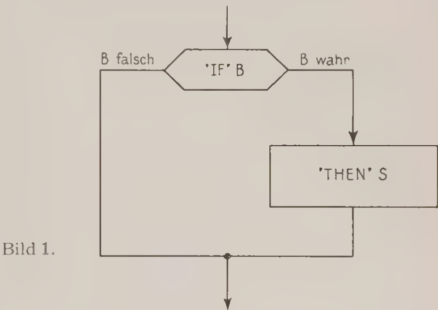


Bild 1.

Als einfaches Beispiel betrachten wir die Determinantenprüfung bei einem System linearer Gleichungen.

```
DET := A1 × B2 — A2 × B1;
'IF' DET 'NOT EQUAL' 0 'THEN'
'BEGIN'
        X := (C1 × B2 — C2 × B1)/DET;
        Y := (A1 × C2 — A2 × C1)/DET
'END'
```

Die Bedingungsanweisung bewirkt hier, daß bei verschwindender Determinante die Wertzuweisungen für x und y „übersprungen" werden.

5.3. Die echte Alternative

Die Einseitigkeit wird aufgehoben, wenn wir auch für den Fall, daß die Bedingung nicht erfüllt ist, einen besonderen Anweisungsteil vorsehen. Das geschieht in der Form

'IF' B 'THEN' S_1 'ELSE' S_2;

Ist B wahr, wird die Anweisung S_1 ausgeführt und S_2 übersprungen. Ist B dagegen falsch, wird S_1 übersprungen und S_2 ausgeführt. In beiden Fällen wird sodann die Rechnung mit der auf die Bedingungsanweisung folgenden Anweisung weitergeführt.

Die schematische Darstellung zeigt deutlich die symmetrische Struktur (Bild 2):

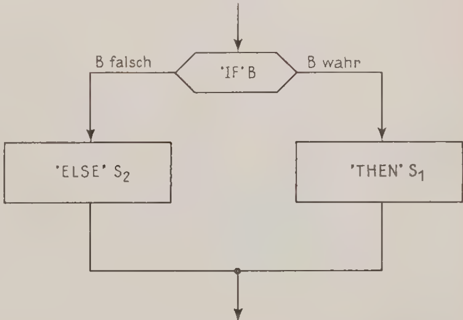


Bild 2.

S_1 und S_2 können wiederum beliebige einfache oder zusammengesetzte Anweisungen sein. Für die auf 'THEN' folgende Anweisung S_1 gilt dieselbe Einschränkung wie in 5.2.

5.4. Beispiel

Als Beispiel für die echte Alternative und für ineinandergeschachtelte Bedingungsanweisungen betrachten wir ein

Programm für die Auflösung quadratischer Gleichungen

$$ax^2 + bx + c = 0$$

mit beliebigen reellen Koeffizienten a, b, c.

Das Programm soll mit dem Aufruf der Koeffizienten a, b, c beginnen und so formuliert werden, daß es für jede Koeffizientenkombination durch die Anordnung des Ausgabeprotokolls die Art der Lösung eindeutig erkennen läßt. Lediglich die Fälle

$$a \neq 0, \quad b = c = 0,$$
$$a = 0, \quad b \neq 0, \quad c = 0,$$

bei denen eine verschwindende Doppelwurzel bzw. eine verschwindende Einfachwurzel auftritt und der Fall

$$a = b = c = 0,$$

bei dem die Lösung unbestimmt ist, werden hinsichtlich des Ausdruckes nicht voneinander unterschieden.

```
'BEGIN'  'COMMENT'
  AUFLOESUNG DER QUADRATISCHEN
  GLEICHUNG
  AX×X + BX + C = 0
  MIT BELIEBIGEN REELLEN KOEFFIZIENTEN
  A, B, C;
  'REAL' A, B, C, X1, X2, REALTEIL, IMAGINAERTEIL,
         WIDERSPRUCH, R, DISKR;
  READ (A, B, C);
  X1 := X2 := REALTEIL := IMAGINAERTEIL
     := WIDERSPRUCH := 0;
  DISKR := B×B − 4×A×C;
  'IF' A 'NOT EQUAL' 0 'THEN'
  'BEGIN'
        'IF' DISKR 'NOT LESS' 0 'THEN'
        'BEGIN'
              R := SQRT(DISKR);
              'IF' B 'NOT EQUAL' 0 'THEN'
              'BEGIN'
                 X1 := −(B + SIGN(B)×R)/(2×A);
                 X2 := C/(A×X1)
              'END' B
                             'ELSE'
              'BEGIN'
                 X1 := R/(2×A);
                 X2 := −X1
              'END'
        'END' 2 REELLE LOESUNGEN
                             'ELSE'
        'BEGIN'
              R := SQRT(ABS(DISKR));
              REALTEIL := −B/(2×A);
              IMAGINAERTEIL := R/(2×A)
  'END' 2 KONJUGIERT KOMPLEXE LOESUNGEN
  'END' A 'NOT EQUAL' 0
                             'ELSE'
        'BEGIN'
              'IF' B 'NOT EQUAL' 0 'THEN'
              'BEGIN'
                 X2 := −C/B;
              'END' 1 REELLE LOESUNG
                               'ELSE'
              'BEGIN'
                 WIDERSPRUCH := C
        'END' LOESUNG UNBESTIMMT
  'END' A 'EQUAL' 0;
  PRINT (X1, X2, REALTEIL, IMAGINAERTEIL,
         WIDERSPRUCH);
'END'
```

6. Die Folgeanweisung

Laufanweisung und Bedingungsanweisung bewirken eine Abänderung des Programmablaufes gegenüber der Reihenfolge, in der die Anweisungen niedergeschrieben sind. Allerdings sind bei diesen Anweisungen die Ablaufschemata fest vorgezeichnet. Für Ablaufänderungen, die sich nicht in diese Schemata einordnen lassen, ist eine allgemeine Folgeanweisung vorgesehen, deren Verwendung jedoch gewissen Einschränkungen unterworfen ist.

6.1. Markierung

Jede Anweisung kann markiert werden. Als Marken können Namen oder ganze Zahlen verwendet werden, als Markierungszeichen dient ,,:''. Eine markierte Anweisung hat demnach die Form:

$$L : S;$$

wo L irgendeine Marke und S irgendeine Anweisung (einfach oder zusammengesetzt) bedeutet. Markierte Anweisungen gelten wieder als Anweisungen im üblichen Sinn, d. h. sie können ohne Einschränkung Bestandteile von zusammengesetzten Anweisungen sein.

Beispiele:

```
            1237:  A := (R + R)×3.14;
               B:  X := Y − A×A;
DETERMINANTE:  D := A1×B2 − B2×A1;
```

Die Markierung kann zunächst dazu verwendet werden, durch Setzen von Zwischentiteln oder durch Numerierung die Übersichtlichkeit des Programms zu erhöhen. Auf die Markierung stützt sich außerdem die Folgeanweisung.

6.2. Folgeanweisung

Die Folgeanweisung selbst wird mit Hilfe des Wortsymbols **'GO TO'** gebildet. Sie besteht aus dem Wortsymbol und der Marke.

Form:

'GO TO' L;

Häufig wird auch die Bezeichnung ,,Sprunganweisung'' gebraucht.

6.2.1. ,,Vorwärtssprung''

Tritt in der Niederschrift des Programms die Sprunganweisung an früherer Stelle auf als die als ,,Sprungziel'' zugeordnete markierte Anweisung, dann spricht man von einem ,,Vorwärtssprung''. Die Anzahl der möglichen Vorwärtssprünge ist begrenzt und für jeden Formelübersetzer unter den Kapazitätsbeschränkungen aufgeführt.

6.2.2. Sprung aus einer Lauf- oder Bedingungsanweisung

Häufig wird die Folgeanweisung dazu verwendet, den normalen Ablauf einer Bedingungs- oder Laufanweisung zu durchbrechen. In beiden Fällen wird der Ablauf der Bedingungs- bzw. Laufanweisung vollständig abgebrochen und auch an späterer Stelle nicht wieder aufgenommen (,,Heraussprung'').

Bei vorzeitigem Abbruch einer Laufanweisung behält die Laufvariable ihren letztzugewiesenen Zahlenwert bei. Nach ordnungsgemäßer Beendigung der Laufanweisung dagegen ist die Wertzuweisung an die Laufvariable aufgehoben. In Verbindung mit einer Bedingungsanweisung kann die Folgeanweisung dazu verwendet werden, einen zyklischen Ablauf eines Programmteiles in Abhängigkeit von einer numerischen Bedingung zu steuern. Dieser Fall tritt häufig bei Iterationsprozessen auf (siehe Beispiel 6.3.).

6.2.3. Unzulässige Folgeanweisungen

Eine Folgeanweisung ist unzulässig, wenn sie „von außen" in den Anweisungsteil einer Laufanweisung „hineinführt", genauer gesagt, wenn nur die als Sprungziel fungierende markierte Anweisung und nicht auch die Folgeanweisung dem Anweisungsteil der Laufanweisung angehören.

In diesem Fall würde nämlich die Folgeanweisung eine Umgehung der Laufangabe und damit der Wertzuweisung für die Laufvariable bewirken.

Dagegen sind Folgeanweisungen, die in einen Anweisungsteil einer Bedingungsanweisung führen, zulässig. In diesem Fall ist der weitere Ablauf aus den schematischen Darstellungen auf Seite 263 klar zu ersehen.

6.3. Beispiel:

Als Beispiel für die Verwendung von Folgeanweisungen formulieren wir ein vollständiges Programm für einen einfachen Iterationsprozeß zur Bestimmung der dritten Wurzel aus einer reellen Zahl a. Die Iterationsvorschrift für den Newtonschen Iterationsprozeß lautet:

$$x_{n+1} = \frac{1}{3} \cdot \left(2x_n + \frac{a}{x_n^2}\right).$$

Der Anfangswert x_0 soll angegeben und der Iterationsprozeß solange durchgeführt werden, bis zwei aufeinanderfolgende Näherungswerte auf neun Stellen übereinstimmen.

```
'BEGIN'   'COMMENT'
          BESTIMMUNG DER DRITTEN WURZEL;

          'REAL' A, NAEHERUNGSWERT, X, Y;

          READ (A, NAEHERUNGSWERT);
          X := NAEHERUNGSWERT;
     NEWTON:
          Y := X;
          X := (2×Y + A/(Y×Y))/3;

          'IF' ABS(Y—X) 'GREATER' ABS(X)×.5_10—9
          'THEN' 'GO TO' NEWTON
          'ELSE' PRINT (X)

'END'
```

(wird fortgesetzt)

Apparate und Anlagen

IBM Tele-Processing Systeme*)

Um den verschiedenen Datenverarbeitungssystemen noch mehr Einsatzmöglichkeiten zu erschließen, hat die IBM Deutschland einige Tele-Processing-Systeme herausgebracht. Mit Hilfe dieser Systeme können dezentral anfallende Daten von verschiedenen Stellen über Telefonleitungen zu einer Datenverarbeitungsanlage übertragen werden.

IBM 1001 Datenübermittlungsanlage

Mit dieser Anlage können numerische Daten aus einer Lochkarte oder einer Tastatur über Telefonleitung direkt in die Lochkarte eines in beliebiger Entfernung stehenden Empfangslochers übertragen werden. (Für Übertragung über das öffentliche Fernsprechnetz ist die Genehmigung der Bundespost erforderlich.)

Voraussetzung für die Datenübertragung ist, daß sowohl der Sender als auch der Empfänger mit einem Telefonapparat verbunden sind. Diese Telefone können für den üblichen Fernsprechverkehr benutzt werden und werden nur bei Bedarf auf Datenübertragung umgeschaltet. Dadurch, daß zwischen Sender und Empfänger keine feste Verbindung besteht, sondern diese durch Anwählen mit der Telefonscheibe hergestellt wird, ist es möglich, an einen Empfänger nacheinander beliebig viele Sendestationen anzuschließen. Die Impulse, die beim Sender durch Abfühlen der Lochkarte oder durch Betätigung der Zehnertastatur entstehen, werden in einem Signalumsetzer in tonfrequente Signale umgewandelt und als solche über die Telefonleitung gesendet. Beim Empfänger werden diese tonfrequenten Signale in einem Empfängersignalumsetzer wieder in Impulse zurückverwandelt, die über einen angeschlossenen Datenumformer in den Locher eingegeben werden.

Die Übertragung erfolgt in einem 2 aus 8 Code. Für die Darstellung der Signale wird Frequenzmodulation verwendet. Die maximale Übertragungsgeschwindigkeit liegt bei 12 Zeichen/sec. Die Verteilung der Daten in der Empfangslochkarte wird durch die Programmkarte des Lochers gesteuert. Um fehlerhafte Übertragungen, die eventuell durch Leitungsstörungen entstehen können, auf ein Minimum zu beschränken, wird auf der Empfangsseite jedes einzelne Zeichen auf Gültigkeit sowie die Anzahl der empfangenen Zeichen geprüft. Durch einen Kontrollton wird dem Sender angezeigt, ob die Übertragung fehlerfrei war. Jede richtig übertragene Karte wird außerdem mit einer Kontrollochung versehen.



1) TELE-PROCESSING zum Warenzeichen angemeldet

Die IBM 1001 wird überall dort vorteilhaft eingesetzt werden können, wo es darauf ankommt, bereits in Lochkarten vorhandene Daten, die noch um variable Daten aus der Tastatur ergänzt werden können, zu einer zentralen Verarbeitungsstelle zu übertragen. Die Grenze für eine vorteilhafte Anwendung der IBM 1001 wird dadurch gegeben, daß jede Karte einzeln in die Sendestation eingelegt werden muß.

IBM 7701 Magnetbandeinheit für Tele-Processing

Mit Hilfe der IBM 7701 können auf Magnetband gespeicherte Daten über die Telefonleitung direkt auf ein anderes Magnetband übertragen werden. Dabei kann die IBM 7701 sowohl als Sende- als auch als Empfangsgerät benutzt werden, da sie durch einen einfachen Schalter auf Senden oder Empfangen eingestellt werden kann, so daß die Magnetbanddaten in beiden Richtungen übertragen werden können. Genau wie bei allen anderen Tele-Processing-Systemen kann auch hier das zur Herstellung der Verbindung erforderliche Telefon zum normalen Fernsprechverkehr benutzt werden, wenn keine Datenübertragung stattfindet (für die Datenübertragung über das öffentliche Fernsprechnetz ist die Genehmigung der Bundespost erforderlich).

Die IBM 7701 besteht aus zwei Teilen, dem oberen Teil, der die Magnetbandeinheit beinhaltet, und der im unteren Teil untergebrachten Sender-Empfänger-Synchronisiereinrichtung. Die Sender-Empfänger-Synchronisiereinrichtung ist mit Transistoren und Magnetkernen ausgestattet.

Die im BCD- oder Binärcode auf das Magnetband aufgezeichneten Daten werden Zeichen für Zeichen von der IBM 7701 gelesen, in den Übertragungscode (4 aus 8) umgewandelt und die Bits der Zeichen seriell zur Übertragung an den Signalumsetzer weitergegeben. In dem Signalumsetzer werden die Bits zur Übertragung über die Telefonleitung in tonfrequente Signale umgewandelt. Die Signale werden in der Telefonleitung durch Frequenzmodulation dargestellt. Abhängig von den beim Sender und beim Empfänger verwendeten Signalumsetzern kann mit einer Geschwindigkeit von 75 oder 150 Zeichen/sec übertragen werden. Auf der Empfangsseite werden die Bits wieder zu Zeichen zusammengesetzt, die Zeichen wieder in den Ursprungscode (BCD oder Binär) zurückverwandelt und auf das Empfangsband geschrieben.

Die Übertragung ist unabhängig von der zu verarbeitenden Satzlänge. Jedes Zeichen wird beim Lesen, nach dem Übertragen und nach dem Schreiben auf Gültigkeit geprüft. Eine Longitudinalprüfung gewährleistet, daß kein Zeichen verlorengeht. Wird durch eine der Prüfungen ein Fehler erkannt, wird durch automatische zweimalige Wiederholung versucht, den Fehler zu beseitigen. Erst wenn diese Versuche erfolglos sind, wird die Übertragung unterbrochen und der Bediener durch ein Signal zum Eingreifen veranlaßt.

Mit diesem System ist es verschiedenen Datenverarbeitungszentren möglich, über beliebige Entfernungen große Datenmengen auszutauschen.

An Stelle der IBM 7701 kann auf einer Seite der Übertragung auch eine Datenverarbeitungsanlage IBM 1401 mit angeschlossener IBM 1009 stehen. Auf diese Weise können Daten auch von dem Magnetband direkt in eine Rechenanlage übertragen werden oder umgekehrt.

IBM 1009 Datenübermittlungseinheit

Die IBM 1009 Datenübermittlungseinheit dient dazu, Daten aus dem Kernspeicher einer IBM 1401 über Telefonleitung direkt in den Kernspeicher einer anderen IBM 1401 zu übertragen. Dazu muß an jede der beiden IBM 1401 eine IBM 1009 angeschlossen sein. Für die Datenübertragung werden die Zeichen seriell zur IBM 1009 übertragen und dort in den 4-aus-8-Übertragungscode umgewandelt. Die einzelnen Bits werden von der IBM 1009 zu dem Signalumsetzer weitergegeben, von wo aus sie als tonfrequente Signale (in Frequenzmodulation dargestellt) über die Telefonleitung geschickt werden. Auf der Empfangsseite geht der ganze Vorgang in umgekehrter Reihenfolge vor sich.

Die Übertragung erfolgt mit 75 oder 150 Zeichen/sec. Zur Steuerung der Übertragung müssen in den beiden IBM 1401 das Sende- bzw. das Empfangsprogramm geladen sein. Während der Übertragung können beide IBM 1401 unabhängig davon Übertragungsoperationen von einem Band auf den Drucker durchführen.

Zusätzlich zur Ein- und Ausgabegültigkeitsprüfung führt die IBM 1009 eine Prüfung jedes einzelnen Zeichens sowie eine Longitudinalprüfung durch, um eine große Übertragungssicherheit zu gewährleisten. Das Zusammenarbeiten verschiedener Datenverarbeitungszentralen wird besonders dadurch begünstigt, daß es auch möglich ist, die Komination IBM 1401 mit 1009 über Telefonleitung mit einer IBM 7701 Magnetbandeinheit für Tele-Processing korrespondieren zu lassen. Auf diese Weise könnten verschiedene Datenverarbeitungszentren, die mit IBM 1401 arbeiten, ihre Daten direkt zu einem Großrechenzentrum übertragen, wo die Daten durch eine IBM 7701 auf Magnetband gesammelt werden, um dann in einem separaten Arbeitsgang in die Großrechenanlage eingegeben zu werden.

Buchbesprechungen

P. Naslin, Aufbau und Wirkungsweise von Ziffernrechenautomaten. Nach der 2. französischen Auflage übersetzt von J. Hund und K. Krause. VDI-Verlag Düsseldorf 1961, 172 S., DM 32,—.

Wenn ein Buch über den Aufbau und die Wirkungsweise von Digitalrechnern geschrieben werden soll, das (bei erträglichem Umfang) sowohl die logische Organisation, das Programmieren und die technische Realisierung umfassen soll, so bleibt dem Autor eigentlich nichts anderes übrig, als die Beschreibung auf eine ganz bestimmte Maschine zu stützen. Dies gilt um so mehr dann, wenn der Autor ein Lehrbuch für Studenten schreiben will.

Da das vorliegende Buch aus Vorlesungen entstanden ist, wird also auch hier dieser Weg gegangen. Vom Einfachen zum Schwierigen übergehend, wird nach und nach das Konzept einer zwar sehr einfachen, aber durchaus funktionsfähigen Digitalrechenmaschine entworfen, die alle wesentlichen Merkmale einer größeren Anlage aufweist. Diese systematische Beschreibung eines kleinen Digitalrechners, wie er vom Autor an der Ecole Nationale Supérieure de l'Armement für Unterrichtszwecke entwickelt worden ist, hat den großen Vorteil, den Leser ganz methodisch in die Probleme einzuführen. Diesem didaktischen Vorteil steht naturgemäß der Nachteil gegenüber, daß doch nur ein ziemlich schmaler Sektor aus dem Gesamtgebiet herausgegriffen werden konnte, so daß von manchen Eigenschaften größerer, industrieller Anlagen nicht gesprochen werden konnte. Es ging dem Autor aber eben um eine Einführung in die Prinzipien der Digitalrechentechnik. Und dieses Ziel wird ganz konsequent verfolgt und durch straffe Darstellung und präzise Formulierungen auf relativ kurzem Wege erreicht. Das vorzüglich übersetzte Büchlein wird sicher manchem Lernenden einen gangbaren Zugang zu diesem Fachgebiet verschaffen.

R. Herschel

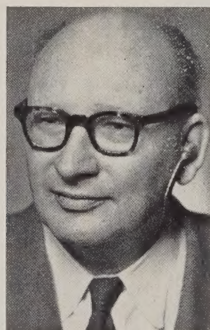
DIE BEITRÄGE DIESES HEFTES WURDEN GESCHRIEBEN VON



Dr. phil. *Frank F. Tsui*, geboren 1922 in Tientsin (China). Studium der Physik 1939—1941 und 1946—1948 an der Yenching-Universität in Peiping, China. Promotion 1954 an der Universität Liverpool, England. Seit 1955 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für elektrische Nachrichtentechnik und Meßtechnik der TH München. Arbeitsgebiet: digitale Rechenanlagen.



Dipl.-Math. *Dieter Kobelt* (30). Studium 1951 bis 1954 an der Universität Münster, 1954—1957 an der TH Darmstadt. Seit 1957 bei Farbwerke Hoechst AG, vormals Meister Lucius & Brüning, Frankfurt am Main-Höchst.



Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. *Hans Piloty*, geboren 1894 in Berlin. Studium der Elektrotechnik 1913 bis 1914 und 1919—1921 an der TH München. Seit 1931 Professor und Leiter des Instituts für elektrische Nachrichtentechnik und Meßtechnik der TH München. Von 1948 bis 1951 auch Rektor der TH München. Arbeitsgebiete: Netzwerksynthese, Nachrichtentechnik, digitale Rechenanlagen.



Richard-Heinrich Giese. Geboren 1931. Abitur am Hum. Gymn. Ansbach 1951. Danach Physikstudium an der TH Stuttgart und Universität Tübingen. Diplom Tübingen 1958. Danach wissenschaftlicher Mitarbeiter am Astronomischen Institut Tübingen und 1960/61 Doktorpromotion bei Prof. Dr. H. Siedentopf. Experimentelle Arbeiten über Informationswiedergabe durch photographische Schichten, Streuung von Mikrowellen an Probekörpern. Theoretisch: Berechnung von optischen Streuproblemen mit elektronischen Rechenmaschinen.



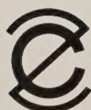
Dr.-Ing. *Kurt Reche* (55). Studium an der TH Berlin-Charlottenburg. 1932 Promotion in Berlin auf dem Gebiet der Theoretischen Elektrotechnik. Seit 1931 tätig im Rahmen der Entwicklungsorganisation der Siemens & Halske AG als Entwicklungsingenieur in verschiedenen physikalischen und nachrichtentechnischen Laboratorien, als Direktionsassistent in der zentralen Entwicklungsleitung und als Leiter der Telegrafenlaboratorien des Zentrallaboratoriums. Nach 1945 Mitarbeit am Wiederaufbau der Technischen Entwicklung. 1948 Übernahme der Leitung des Wernerwerkes für Telegrafen- und Signaltechnik mit den Arbeitsgebieten Fernschreibtechnik, Eisenbahnsignaltechnik, Allgemeine Signaltechnik und Nachrichtenverarbeitung. Seit 1954 Mitglied des Vorstandes der Siemens & Halske AG.

Automatisches Daten-Aufzeichnen

erspart Ihnen kostbare Arbeitszeit und qualifiziertes Personal. Wählen Sie deshalb zur Rationalisierung Ihrer Aufzeichnungsarbeiten die

Contraves-Programmsteuerung kombiniert mit einem Haag-Streit-Koordinatographen

Tischgrösse 1200 x 1130 mm
Die Dateneingabe erfolgt automatisch mit Lochkarten oder Lochstreifen, manuell mit Dekadenschalter.
Die kleinste Eingabeeinheit im Masstab 1:1 beträgt 1/100 mm. Die Nullpunkteinstellung kann beliebig in- oder ausserhalb des Tisches gewählt werden.



CONTRAVES

Contraves AG, Zürich
Schaffhauserstr. 580